



**TUGAS AKHIR - SS 145561**

# **ANALISIS KUALITAS AIR PADA SISTEM DEARATOR DI PT.X**

Rendy Winarno  
NRP 1314 030 091

Dosen Pembimbing :  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T

DEPARTEMEN STATISTIKA BISNIS  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR - SS 145561**

## **ANALISIS KUALITAS AIR PADA SISTEM DEARATOR DI PT.X**

Rendy Winarno  
NRP 1314 030 091

Dosen Pembimbing :  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T

DEPARTEMEN STATISTIKA BISNIS  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT - SS 145561**

## **ANALYSIS WATER QUALITY ON THE DEARATOR SYSTEM IN PT.X**

Rendy Winarno  
NRP 1314 030 091

Supervisor  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T

DEPARTMENT OF STATISTICS OF BUSINESS  
FACULTY VOCATIONAL  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISIS KUALITAS AIR PADA SISTEM DEARATOR**  
**DI. PT.X**


**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Ahli Madya pada Departemen Statistika Bisnis  
Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh :  
**RENDY WINARNO**  
**NRP 1314 030 091**

SURABAYA,      JULI 2017

Menyetujui,  
Pembimbing Tugas Akhir

  
**Dra. Lucia Aridinanti, MT**  
**NIP. 19610131 198701 2 001**

Mengetahui,  
Kepala Departemen Statistika Bisnis  
Fakultas Vokasi ITS

  
**Dr. Wahyu Wibowo, S.Si, M.Si**  
**NIP. 19740328 199802 1 001**  
STATISTIKA BISNIS

# ANALISIS KUALITAS AIR PADA SISTEM DEARATOR DI PT. X

**Nama** : Rendy Winarno  
**NRP** : 1314 030 091  
**Departemen** : Statistika Bisnis  
**Dosen Pembimbing** : Dra. Lucia Aridinanti, M.T

## Abstrak

Energi listrik merupakan suatu kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia saat ini dan masa yang akan datang, dimana energi listrik digunakan untuk melakukan berbagai aktifitas dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu penyumbang energi di Indonesia adalah PT. X. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kapabilitas proses dari kualitas air pada sistem dearator di PT. X pada bulan Februari dan Maret 2017 dengan variabel yang digunakan adalah *conductivity* dan tingkat keasaman. Secara umum didapatkan bahwa kualitas air bulan Februari dan pada bulan Maret indeks kapabilitas proses yang  $M_p > 1$  dan  $M_{pk} < 1$  yang artinya proses belum kapabel, didapatkan bahwa kualitas dari air terjadi penurunan akan tetapi kualitas air semakin mendekati batas yang telah ditentukan oleh perusahaan yang, akan tetapi jika dilihat dari tiap variabel didapatkan variabel *conductivity* memiliki nilai presisi dan akurasi  $> 1$  yang artinya proses telah kapabel sedangkan variabel tingkat keasaman memiliki nilai presisi dan akurasi  $< 1$  yang artinya proses belum kapabel. Faktor –faktor penyebab utama tidak terkendalinya proses secara keseluruhan adalah *conductivity* yang melebihi batas spesifikasi perusahaan yang disebabkan oleh faktor pengukuran, material, sistem dan mesin.

**Kata Kunci** : Dearator, Kapabilitas proses, Kualitas Air, Peta Kendali.

## ANALYSIS WATER QUALITY ON THE DEARATOR SYSTEM IN PT.X

**Student Name** : Rendy Winarno  
**NRP** : 1314 030 091  
**Departement** : Statistics Of Business  
**Supervisor** : Dra. Lucia Aridinanti, M.T

### Abstract

*Electrical energy is a basic requirement for human life today and the future, where electrical energy is used to perform various activities in everyday life. One of the energy contributors in Indonesia is PT. X. In this study aims to determine how the process capability of water quality in the dearator system at PT. X in February and March 2017 with the variables used are conductivity and acidity level. It is generally found that the quality of water in February and in March the index capability proses  $M_p > 1$  and  $M_{pk} < 1$  which means the process is not yet capable, it is found that the quality of the water decreases but the water quality is closer to the limit determined by the company which will But when viewed from each variable obtained variables conductivity ymemiliki precision and accuracy value  $> 1$  which means the process has kapabel while the acidity level variables have precision and accuracy value  $< 1$  which means the process is not yet capable. The main factors causing uncontrolled processes over all are conductivity that exceeds the company's specification limits caused by measurement factors, materials, systems and machinery.*

**Keyword:** Dearator, Capability Process, Water Kualitas, Statistical ,

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**ANALISIS KUALITAS AIR PADA SISTEM DEARATOR DI PT. X**”. Penulis sadar bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, M.T selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah bersedia memberikan waktunya, selalu sabar memberikan bimbingan, memberi motivasi serta beberapa informasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Ibu Ir. Mutiah Salamah Chamid, M.Kes selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini dan Ibu Noviyanti Santoso, S.Si, M.Si selaku dosen penguji dan dosen validator yang selalu memberikan saran dan kritikan yang membangun Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Wahyu Wibowo S.Si M.Si selaku Kepala Departemen Statistika Bisnis ITS dan Ibu Ir. Sri Pingit Wulandari, M.Si selaku kepala program studi Diploma III Departemen Statistika Bisnis ITS yang telah membimbing dan memotivasi penulis selama menjadi mahasiswa.
4. Seluruh dosen Departemen Statistika Bisnis ITS yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan, beserta seluruh karyawan Departemen Statistika Bisnis ITS yang telah membantu kelancaran dan kemudahan dalam pelaksanaan kegiatan perkuliahan.
5. PT. X khususnya Bapak Bachrudin yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melaksanakan Tugas Akhir ini.

6. Ayah, Ibu, dan adikku atas segala do'a, dukungan dan motivasi yang selalu diberikan kepada penulis sebagai penyemangat dalam pembuatan Tugas Akhir ini.
7. Sahabatku se-departemen dan se-perjuangan Bapak Matabri, Arizal Arif F, Rana Abyan, Arif Fuad Saifulloh, Mohammad Khoirul Roziq, Soni Adiyatma, Mira Anjani, Tri Ilma Sari, Sarirazty Dwijantary, Romi, Bagus, Sukma dan Mega yang tidak pernah berhenti memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis, yang selalu menemani langkah dan mengukir cerita selama perkuliahan.
8. Sahabatku Reynaldo dan Dimas Nur C serta teman-teman Hellarios dan Royality yang telah memberikan segala dukungan dan pembelajaran kehidupan diluar perkuliahan kepada penulis.
9. Teman-teman PIONEER atau DIII Statistika 2014 yang telah berjuang bersama mulai dari masa mahasiswa baru hingga saat ini serta saling memberi motivasi satu sama lain.

Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat serta menambah wawasan bagi pembaca. Penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan dalam laporan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	iii
<b>ABSTRAK .....</b>	v
<b>ABSTRACT .....</b>	vii
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	ix
<b>DAFTAR ISI.....</b>	xi
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	xiii
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	xvii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Analisis Kapabilitas Proses.....	5
2.2 Peta Kendali Multivariat .....	5
2.2.1 Pengujian Dependensi Variabel .....	6
2.2.2 Distribusi Multivariat Normal.....	8
2.2.3 <i>Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)</i> .....	8
2.2.4 Peta Kendali <i>General Variance</i> .....	11
2.2.5 Peta Kendali $T^2$ <i>Hotteling</i> .....	13
2.3 Kapabilitas Proses .....	17
2.4 Diagram Ishikawa .....	19
2.5 Sistem Kerja Dearator .....	19
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Variabel Penelitian.....	23
3.2 Langkah Analisis .....	24
<b>BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Kapabilitas Bulan Februari 2017 .....	27

4.1.1 Deskripsi Data .....	27
4.1.2 Pengujian Dependensi Antar Variabel Karakteristik Kualitas .....	28
4.1.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	28
4.1.4 Analisis Peta <i>Generalized Variance</i> .....	29
4.1.5 Analisi Peta $T^2$ <i>Hotteling</i> .....	30
4.2 Analisis Kapabilitas Proses Bulan Maret 2017...	33
4.2.1 Deskripsi Data .....	33
4.2.2 Pengujian Dependensi Antar Variabel Karakteristik Kualitas .....	34
4.2.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	34
4.2.4 Analisis Peta <i>Generalized Variance</i> .....	35
4.2.5 Analisi Peta $T^2$ <i>Hotteling</i> .....	36
4.2 Indeks Kapabilitas Proses .....	38
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	43
<b>LAMPIRAN</b> .....	45
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	68

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Diagram Ishikawa.....	20
<b>Gambar 2.2</b> Diagram Alir Proses Produksi .....	22
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir.....	25
<b>Gambar 4.1</b> Asumsi Distribusi Normal Multivariat .....	29
<b>Gambar 4.2</b> Peta <i>Generalized Variance</i> .....	30
<b>Gambar 4.3</b> Peta $T^2$ Hotelling .....	31
<b>Gambar 4.4</b> Faktor-faktor Penyebab tidak terkendalinya proses .....	32
<b>Gambar 4.5</b> Peta $T^2$ Hotelling setelah perbaikan.....	33
<b>Gambar 4.6</b> Asumsi Distribusi Normal Multivariat .....	35
<b>Gambar 4.7</b> Peta <i>Generalized Variance</i> .....	36
<b>Gambar 4.8</b> Peta $T^2$ Hotelling .....	37
<b>Gambar 4.9</b> Peta $T^2$ Hotelling setelah perbaikan.....	38

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Struktur Data .....	16
<b>Tabel 3.1</b> Variabel Kualitas yang diukur.....	23
<b>Tabel 4.1</b> Deskripsi Data .....	27
<b>Tabel 4.2</b> Deskripsi Data .....	33
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Analisis Manova .....	37
<b>Tabel 4.4</b> Indeks Kapabilitas Proses Univariat .....	39
<b>Tabel 4.5</b> Indeks Kapabilitas Proses Multivariat.....	40

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1.</b> Data Proses Produksi pada Sistem Dearator PLTU unit 5 Bulan Februari 2017.....	45
<b>Lampiran 2.</b> <i>Output</i> Uji Korelasi.....	50
<b>Lampiran 3.</b> <i>Output</i> Distribusi Normal Multivariat.....	51
<b>Lampiran 4.</b> <i>Output</i> Deskripsi Data.....	51
<b>Lampiran 5.</b> Hasil Analisa Menggunakan peta <i>GV</i> .....	51
<b>Lampiran 6.</b> Hasil Analisa Menggunakan peta $T^2$ <i>Hotteling</i> .....	52
<b>Lampiran 7.</b> Data Proses Produksi pada Sistem Dearator PLTU unit 5 Bulan Februari 2017.....	53
<b>Lampiran 8.</b> <i>Output</i> Uji Korelasi.....	58
<b>Lampiran 9.</b> <i>Output</i> Distribusi Normal Multivariat.....	59
<b>Lampiran 10.</b> <i>Output</i> Deskripsi Data.....	59
<b>Lampiran 11.</b> Hasil Analisa Menggunakan peta <i>GV</i> .....	59
<b>Lampiran 12.</b> Hasil Analisa Menggunakan peta $T^2$ <i>Hotteling</i> .....	60
<b>Lampiran 13.</b> Macro Minitab Pengujian Dis. Normal Multivariat.....	61
<b>Lampiran 14.</b> Indeks Kapabilitas Proses Bulan Februari 2017.....	63
<b>Lampiran 15.</b> Indeks Kapabilitas Proses Bulan Maret 2017.....	64
<b>Lampiran 16.</b> Manova .....	65
<b>Lampiran 17.</b> Bukti Pengambilan Data di PT. X.....	66
<b>Lampiran 16.</b> Surat Pernyataan Keaslian Data Tugas Akhir .....	67

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Energi listrik merupakan suatu kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia saat ini dan masa yang akan datang, dimana energi listrik digunakan untuk melakukan berbagai aktifitas dalam kehidupan sehari-hari. Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat ini, diperlukan pembangkit yang mempunyai kualitas yang baik agar kebutuhan akan listrik dapat terpenuhi. Salah satu penyumbang energi di Indonesia adalah PT. X.

PT.X merupakan perusahaan PLTU (pembangkit listrik tenaga uap) swasta di Situbondo. Perusahaan ini bergerak pada bidang pengoperasian dan pemeliharaan untuk PLTU Paiton Unit. Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Uap ini menggunakan batu bara dan solar sebagai sumber energinya. Unit 5 sendiri menghasilkan 1220 MW daya listrik. Pada sistem pembangkit tenaga uap tidak terlepas dari pengolahan air karena pada sistem pembangkit ini menggunakan air sebagai sumber untuk menggerakkan turbin. Kualitas air juga diperlukan untuk menunjang proses produksi listrik karena jika air yang digunakan mempunyai kualitas yang buruk akan terjadi masalah pada peralatan dan proses produksi yang digunakan. Sehingga menyebabkan permasalahan yang akan terjadi seperti korosi yang akan menyebabkan kebocoran pipa-pipa atau munculnya kerak yang dapat menghambat perpindahan panas. Jika dibiarkan secara terus menerus akan menyebabkan terjadinya pemborosan bahan bakar pada boiler.

Air laut yang sebagai bahan utama pada sistem PLTU masih banyak mengandung garam, ion, mikroorganisme dan kotoran lainnya. Untuk menghilangkan kandungan yang tidak diinginkan maka diperlukan bahan kimia untuk merubah air laut

menjadi tawar. Salah satu yang digunakan untuk mengurangi kandungan oksigen dalam air selama proses pembuatan uap pada PLTU adalah dearator. Dearator merupakan alat yang bekerja untuk membuang gas yang terkandung pada air ketel, setelah melalui proses pemurnian air. Selain itu kegunaan dari dearator adalah sebagai pemanas awal air pengisian ketel sebelum dimasukkan kedalam boiler. Dalam dearator ada injeksi  $N_2H_4$  untuk mengurangi kadar garam akan tetapi apabila terlalu banyak injeksi  $N_2H_4$  tidak optimum sedangkan kekurangan  $N_2H_4$  air masih mengandung  $O_2$  yang akan terjadi korosi pada *superheater* apabila oksigen atau garam masuk pada proses produksi. Kualitas air yang masuk kedalam dearator juga harus diperhatikan agar air yang masuk dalam dearator sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditetapkan oleh perusahaan. Kualitas yang harus diperhatikan adalah *conductivity* dan tingkat keasaman. Kedua parameter tersebut sangat berpengaruh dalam sistem dearator. Jika kualitas air tersebut terganggu maka akan berpengaruh pada proses produksi listrik.

Pengendalian kualitas sangat diperlukan dalam memproduksi suatu produk untuk menjaga dan menentukan kualitas produk. Hal tersebut dilakukan dengan usaha untuk menemukan faktor-faktor yang menyebabkan suatu proses produksi yang tidak berjalan dengan baik. Sehingga apabila terjadi gangguan dapat segera dilakukan perbaikan. Proses pengendalian kualitas secara statistik adalah metode dengan menggunakan peta kendali. Peta kendali adalah metode grafik yang digunakan untuk mengevaluasi apakah suatu proses berada dalam batas pengendalian kualitas secara statistik atau tidak, jika proses tidak terkendali metode. Pengendalian Kualitas Statistik dapat membantu memberi petunjuk mengapa proses tidak terkendali. Pada umumnya pengamatan terhadap suatu obyek tidak hanya satu variabel tetapi lebih dari satu, sehingga menghasilkan informasi yang komprehensif. Sehingga pada pengendalian Kualitas Statistik dimungkinkan

menggunakan dua variabel atau lebih (Multivariat). Salah satu peta kendali multivariat yang dapat digunakan dan sesuai dengan karakteristik dari kualitas air adalah peta kendali  $T^2$  Hotelling, dimana peta kendali ini merupakan peta kendali yang digunakan untuk mengendalikan variabilitas serta vektor rata-rata dari proses multivariat. Apabila hasil produksi telah terkendali secara statistik, dilakukan analisis kapabilitas proses untuk mengetahui bahwa proses produksi yang berlangsung sudah kapabel atau belum. Kapabilitas proses bertujuan untuk menunjukkan kemampuan suatu proses dalam memenuhi batas spesifikasi yang telah ditetapkan (Montgomery, 2009).

Pada PT. X dilakukan analisis pengecekan secara deskriptif komposisi di laboratorium tanpa melakukan pemetaan plot peta kendali, dengan analisis menggunakan peta kendali dapat diketahui dengan jelas apakah ada peningkatan atau penurunan kualitas tiap bulannya dan dapat mengetahui proses telah terkendali secara statistik atau tidak sehingga dapat menemukan penyebab suatu proses yang tidak terkendali dan melakukan perbaikan untuk tetap menjaga kualitas air agar sesuai dengan yang ditetapkan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan menggunakan peta kendali variabel *Generalized Variance* untuk melakukan pengontrolan terhadap proses produksi *lamp case*. Lestari (2009) meneliti tentang kualitas air *boiler* PLTU unit 1 di PT. PJB unit Pembangkit Gresik. Sedangkan dalam penelitian ini pengendalian kualitas statistik menggunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling, *Generalized Variance*, dan analisis kapabilitas proses dengan karakteristik kualitas air antara lain *conductivity* dan tingkat keasaman serta mengetahui apakah perbedaan bulan februari dan bulan maret berpengaruh terhadap kualitas air.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Variabel kualitas yang menentukan kualitas air pada sistem dearator adalah *conductivity* dan tingkat keasaman. Jika kualitas air tersebut terganggu maka akan berpengaruh pada proses



produksi listrik. Agar kualitas air yang masuk kedalam dearator sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan oleh perusahaan maka dilakukan pengontrolan pada sistem dearator dalam hal ini perlu dianalisis kapabilitas sistem, sehingga permasalahan adalah :

1. Bagaimana kapabilitas proses pada sistem dearator di PT. X pada bulan Februari dan Maret 2017?
2. Apa saja penyebab terjadinya *out of control* pada sistem dearator di PT. X?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan perumusan masalah diatas, tujuan penelitian yang diperoleh sebagai berikut.

1. Menentukan indeks kapabilitas proses pada sistem dearator di PT. X pada bulan Februari dan Maret 2017.
2. Mengidentifikasi penyebab terjadinya *out of control* pada sistem dearator di PT. X.

### **1.4. Ruang lingkup / Batasan Masalah**

Sistem dearator PLTU unit 5 pada bulan Februari dan Maret 2017.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini memberikan manfaat tentang kualitas air yang memanfaatkan air laut untuk memproduksi uap air yang digunakan dalam proses produksi serta menjaga kestabilan proses di sistem produksi dan memberikan informasi tentang kualitas air pada sistem dearator agar tetap menjaga kestabilan proses produksi di PT. X.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Syarat suatu proses dikatakan kapabel adalah proses terlebih dahulu dilakukan pengecekan apakah proses produksi sudah terkendali dengan menggunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling dan peta kendali *Generalized Variance* berikut adalah tinjauan pustaka yang digunakan dalam penelitian ini.

#### **2.1 Analisis Kapabilitas Proses**

Kapabilitas proses adalah suatu analisa guna menaksir kemampuan proses. Analisis kemampuan proses merupakan bagian yang sangat penting dari keseluruhan program peningkatan kualitas. Analisis kapabilitas proses merupakan bagian vital dari keseluruhan program peningkatan kualitas. Sebelum melakukan analisis kapabilitas proses terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi (Montgomery, 2009).

1. Karakteristik kualitas telah mengikuti distribusi normal.
2. Proses telah terkendali secara statistik.
3. Pada kasus yang memiliki dua batas spesifikasi, rata-rata proses berada diantara batas spesifikasi bawah dan batas spesifikasi atas.

#### **2.2 Peta Kendali Multivariat**

Peta kendali statistika adalah suatu alat yang digunakan untuk melihat kualitas hasil proses apakah terkendali secara statistik. Berdasarkan karakteristik kualitasnya, Peta kendali dibedakan menjadi dua yaitu Peta kendali variabel dan atribut. Peta kendali variabel merupakan Peta kendali yang karakteristik kualitasnya dapat diukur seperti panjang, lebar dan tinggi. Sedangkan peta kendali atribut jika karakteristik kualitasnya hanya membedakan saja seperti cacat atau tidak cacat. Suatu Peta kendali dikatakan terkendali jika plot pengamatan tidak keluar dari batas kendali. Peta kendali memuat batas kendali

atas (BKA), batas kendali bawah (BKB), serta garis tengah (GT).

Berdasarkan banyaknya karakteristik kualitas yang akan diukur, peta kendali dibagi menjadi dua jenis. Yang pertama adalah peta kendali univariat yang diperkenalkan oleh Walter A. Shewhart, peta kendali ini digunakan jika hanya ada satu karakteristik kualitas yang akan diukur, Peta kendali ini dikenal sebagai Peta kendali *Shewhart*. Sedangkan untuk mengukur dua atau lebih karakteristik kualitas secara bersamaan digunakan Peta kendali multivariat yang diperkenalkan oleh Harold Hotelling, peta kendali ini dikenal sebagai Peta kendali  $T^2$  *Hotelling*. Peta kendali yang digunakan untuk mengendalikan *mean* proses adalah Peta kendali  $T^2$  *Hotelling*, sedangkan Peta kendali untuk mengendalikan *varians* proses digunakan Peta kendali *generalized variance* (Montgomery, 2009).

### 2.2.1 Pengujian Dependensi Variabel

Pengamatan dengan  $p$  variabel, yaitu vektor  $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p$  dikatakan independen jika matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas (Morrison, 1990). Untuk mengetahui apakah variabel-variabel saling independen maka digunakan metode *Barlett's Test* dengan hipotesis sebagai berikut.

Hipotesis :

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$  (Karakteristik kualitas saling independen)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$  (Karakteristik kulaitas saling dependen)

Statistik Uji *Chi square* :

$$\chi^2 = - \left[ n - 1 - \frac{2p+5}{6} \right] \ln |\mathbf{R}| \quad (2.1)$$

Keterangan :

$n$  : jumlah observasi

$p$  : jumlah variabel dan

$\mathbf{R}$  : matrik korelasi dari masing-masing variabel

$|\mathbf{R}|$ : Determinan matrik korelasi

Daerah penolakan :

$H_0$  ditolak jika nilai  $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}$  atau P-Value  $< \alpha$

$\chi^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}$  adalah nilai distribusi *chi-square* dengan tingkat

kepercayaan sebesar  $\alpha$  dan derajat bebas  $\frac{1}{2}p(p-1)$ . Matrik korelasi  $\mathbf{R}$  diberikan oleh (Walpole, 1995).

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$$r_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ih} - \bar{x}_h)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 (x_{ih} - \bar{x}_h)^2}} \quad (2.2)$$

Dimana :

$r_{jh}$  = nilai korelasi antara karakteristik kualitas ke- $j$  dan karakteristik kualitas ke- $h$

$i$  = sampel karakteristik kualitas ke- $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ )

$n$  = jumlah observasi

$x_{ij}$  = sampel karakteristik kualitas ke- $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) karakteristik kualitas ke- $j$  ( $j=1,2,\dots,p$ )

$x_{ih}$  = sampel karakteristik kualitas ke- $i$  sampai karakteristik kualitas ke- $h$  ( $h=1,2,\dots,p$ )

$\bar{x}_h$  = Rata-rata karakteristik kualitas ke- $h$  ( $h=1,2,\dots,p$ )

$\bar{x}_j$  = Rata-rata karakteristik kualitas ke- $j$  ( $j=1,2,\dots,p$ )

$\mathbf{R}$  = matriks korelasi dari masing-masing karakteristik Kualitas

## 2.2.2 Distribusi Normal Multivariat

Analisis multivariat adalah analisis statistika yang dikenakan pada data yang terdiri dari banyak variabel dan antar variabel saling berkorelasi. Distribusi normal multivariat terjadi bila data yang ada mengikuti pola normal dan menunjukkan nilai jarak yang mendekati Tabung% (Johnson & Wichern, 2007). Langkah-langkah dalam pengecekan q-q plot adalah sebagai berikut

- a. Mengurutkan nilai  $d_j^2$  dari yang terkecil sampai yang terbesar

$$d_j^2 = (x_j - \bar{x})' S^{-1} (x_j - \bar{x}) \quad (2.3)$$

dimana :

$j$  : 1, 2, ..., n

$x_j$  : obyek pengamatan ke- $j$

$d_j^2$  : nilai kuadrat ke- $j$

$S^{-1}$  : invers matrik varian kovarian

$$S = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x}_p)(x_j - \bar{x}_p)'}{n-1}, \quad (2.4)$$

dimana :

$j$  : 1, 2, ..., n

$p$  : banyaknya karakteristik variabel kualitas

$n$  : banyaknya pengamatan

- b. Mencari nilai  $\chi^2_{\left(p, \frac{j-0.5}{n}\right)} = q_j$  dari tabel *chi-square*

- c. Membuat scatter plot antara pasangan  $d_j^2, q_j$

## 2.2.3 Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)

*Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) adalah teknik analisis yang digunakan untuk membandingkan rata-rata

dari dua populasi atau lebih dalam kasus multivariat random sampel yang diperoleh dari  $g$  populasi (Johnson dan Wichern, 2007). Sebelum melakukan pengujian, terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi sebagai berikut.

1.  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1ni}, (i = 1, 2, \dots, g)$  adalah sampel acak berukuran  $n_i$  dari suatu populasi dengan rata - rata  $\mu_i$ . Sampel acak berasal dari populasi yang independen
2. Masing-masing populasi berdistribusi Multivariat Normal.
3. Mempunyai varian yang homogen

Model *One Way MANOVA*:

$$X_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}, \quad \begin{matrix} j = 1, 2, \dots, n_i \\ i = 1, 2, \dots, g \end{matrix} \quad (2.5)$$

dimana :

$e_{ij}$  : variabel berdistribusi normal independen

$\mu$  : rata-rata umum

$\tau_i$  : perlakuan atau *treatment* ke  $i$  dengan  $\sum_{i=1}^g n_i \tau_i = 0$

Tabel MANOVA *One Way* :

**Tabel 2.1** MANOVA *One Way*

Sumber Variasi	Derajat Bebas	SS dan <i>Cross Product</i>
Treatment	$g - 1$	$B = \sum_{i=1}^g n_i (\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..})(\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..})'$
Residual	$\sum_{i=1}^g n_i - g$	$W = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{i.})(x_{ij} - \bar{x}_{i.})'$
Total	$\sum_{i=1}^g n_i - 1$	$B + W = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})(x_{ij} - \bar{x}_{..})'$

dimana

$g$  = treatment

$W$  = matrik *sum square of residual*

$B$  = matrik *sum square of treatment*

$n_i$  = banyaknya baris pada masing-masing pengamatan

Berikut pengujian hipotesis terhadap *treatment* :

Hipotesis :

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \tau_i \neq 0 \quad ; i = 1, 2, \dots, g$$

Statistik Uji :

Distribusi  $\Lambda^*$  (Distribusi Wilks) dapat didekati dengan menggunakan distribusi F, dengan memenuhi beberapa kriteria berikut:

**Tabel 2.2** Distribusi Wilk's Lambda

Jumlah variabel	Jumlah grup	Distribusi sampling
$p = 1$	$g \geq 2$	$\left( \frac{\sum n_j - g}{g - 1} \right) \left( \frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \approx F_{g-1, \sum n_j - g}$
$p = 2$	$g \geq 2$	$\left( \frac{\sum n_j - g - 1}{g - 1} \right) \left( \frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\sqrt{\Lambda^*}} \right) \approx F_{2(g-1), 2(\sum n_j - g - 1)}$
$p \geq 1$	$g = 2$	$\left( \frac{\sum n_j - p - 1}{p} \right) \left( \frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \approx F_{p; \sum n_j - p - 1}$
$p \geq 1$	$g = 3$	$\left( \frac{\sum n_j - p - 2}{p} \right) \left( \frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\sqrt{\Lambda^*}} \right) \approx F_{2p; 2(\sum n_j - p - 2)}$

$$\text{dimana } \Lambda^* = \frac{|W|}{|B + W|}$$

Daerah Kritis :

Tolak  $H_0$  jika  $X^2_{hitung} > X^2_{p(g-1)(\alpha)}$

Kesimpulan :

Jika tolak  $H_0$  berarti paling tidak ada satu *treatment* yang tidak memiliki karakteristik yang sama.

Jika asumsi pada homogenitas tidak terpenuhi analisis perbedaan *treatment* dapat dilakukan dengan menggunakan uji  $T^2$  dengan hipotesis sebagai berikut :

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$

$H_1$ : minimal ada satu  $\mu_i \neq 0$  ;  $i=1, 2, \dots, g$

Daerah kritis : Tolak  $H_0$  jika  $T^2 > \chi^2_{(\alpha, p)}$

Statistik Uji :

$$T^2 = [\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2]^T \left[ \frac{1}{n_1} \mathbf{S}_1 + \frac{1}{n_2} \mathbf{S}_2 \right]^{-1} [\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2] \quad (2.6)$$

dimana

$\bar{\mathbf{x}}_1$  = matriks rata-rata pada *treatment* ke-1

$\bar{\mathbf{x}}_2$  = matriks rata-rata pada *treatment* ke-2

$\mathbf{S}_1$  = matriks varians kovarians *treatment* ke-1

$\mathbf{S}_2$  = matriks varians kovarians *treatment* ke-2

(Johnson dan Wichern, 2007).

#### 2.2.4 Peta Kendali *Generalized Variance*

Suatu produk jika karakteristik kualitas lebih dari satu variabel dimana antar karakteristik kualitas tersebut saling dependen maka peta kendali yang digunakan adalah peta kendali multivariat. Terdapat dua jenis peta kendali yang digunakan untuk mengontrol kualitas dimana karakteristik kualitasnya multivariat yaitu pertama mengontrol varian proses dan kedua mengontrol *mean* proses. Diagram Kontrol *generalized variance* digunakan untuk mengontrol varians dari proses. Variabilitas proses digambarkan dari matriks varian



kovarian  $\Sigma$  berukuran  $p \times p$  dimana elemen diagonal utama adalah varians dan elemen yang lain adalah kovarians (Montgomery, 2009). Jika menggunakan pendekatan ini, plot pada peta kendali sampel ke- $i$  adalah:

$$W_k = -pn + pn \ln(n) - n \ln \left( \frac{|\mathbf{A}_k|}{b_1} \right) + \text{tr} \left( |\mathbf{S}|^{-1} \mathbf{A}_k \right) \quad (2.7)$$

dimana  $\mathbf{A}_k = (n-1) \mathbf{S}_k$ , dimana  $\mathbf{S}_k$  adalah matrik kovarian subgroup ke- $k$ , dan  $\text{tr}$  adalah *trace operator* (jumlah elemen diagonal utama).

Metode yang digunakan untuk mengontrol variabilitas proses adalah peta kendali *generalized variance* ( $|\mathbf{S}|$ ) dimana determinan dari sampel varian kovarian matriks secara luas digunakan untuk mengukur penyebaran multivariat. Aproksimasi asimtotik normal digunakan untuk mengembangkan diagram kontrol untuk  $|\mathbf{S}|$ , sehingga dalam menakisir *mean* dan varians dari  $|\mathbf{S}|$  adalah sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$E(|\mathbf{S}|) = b_1 \frac{|\mathbf{S}|}{b_1} \quad (2.8)$$

dan

$$V(|\mathbf{S}|) = b_2 \frac{|\mathbf{S}|^2}{b_2} \quad (2.9)$$

dimana

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \quad (2.10)$$

dan

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[ \prod_{i=1}^p (n-i+2) - \prod_{i=1}^p (n-i) \right] \quad (2.11)$$

Sehingga batas kendali diagram kontrol untuk  $|\mathbf{S}|$  adalah

$$\begin{aligned} \text{BKA} &= \frac{|\mathbf{S}|}{b_1} \left( b_1 + 3b_2^{1/2} \right) \\ \text{Garis Tengah} &= b_1 \frac{|\mathbf{S}|}{b_1} \\ \text{BKB} &= \frac{|\mathbf{S}|}{b_1} \left( b_1 - 3b_2^{1/2} \right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

## 2.2.5 Peta Kendali $T^2$ Hotelling

Peta kendali  $T^2$  Hotelling adalah suatu diagram yang digunakan untuk mengetahui apakah *mean* proses produksi terkendali secara statistik atau tidak dimana terdapat dua atau lebih karakteristik kualitas yang saling berhubungan. Karakteristik kualitasnya terdiri dari  $p$  variabel, yaitu  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Diagram kontrol  $T^2$  Hotelling mempunyai subgrup berukuran  $m$ , dimana ukuran tiap-tiap subgrup adalah  $n$  dan  $p$  adalah jumlah karakteristik kualitas yang diamati pada tiap-tiap sampel (Montgomery, 2009). Untuk mencari rata-rata sampel dan varian adalah sebagai berikut.

$$\bar{x}_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{array} \right\} \quad (2.13)$$

$$s^2_{jk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{array} \right\} \quad (2.14)$$

Dimana  $x_{ijk}$  adalah sampel ke- $i$  pada karakteristik kualitas ke- $j$  dan pada subgrup ke- $k$ . Kovarians diantara

karakteristik kualitas ke- $j$  dan karakteristik kualitas ke- $h$  ( $h=1,2,\dots,p$ ) pada subgrup ke- $k$  adalah

$$s_{jkh} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})(x_{ihk} - \bar{x}_{hk}) \left\{ \begin{matrix} k=1,2,\dots,m \\ j \neq h \end{matrix} \right\} \quad (2.15)$$

Matriks kovarian yang dilambangkan dengan  $S$  ditunjukkan sebagai berikut.

$$S = \begin{bmatrix} S_1^2 & S_{12} & \cdots & \cdots & S_{1p} \\ & S_2^2 & \cdots & \cdots & S_{2p} \\ & & \cdots & \cdots & S_{3p} \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & S_p^2 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Dimana :

$s_1^2$  : Varian karakteristik kualitas ke-1

$s_{12}$  : Kovarian karakteristik kualitas ke-1 dan ke-2

$s_p^2$  : Kovarian karakteristik kualitas ke-1 sampai ke- $p$

Adapun nilai diagram kontrol  $T^2$  Hotelling adalah sebagai berikut.

$$T^2 = n(\bar{\bar{x}} - \bar{\bar{x}})' S^{-1} (\bar{\bar{x}} - \bar{\bar{x}}) \quad (2.17)$$

Dimana :

$\bar{\bar{x}}$  : Nilai rata-rata karakteristik kualitas setiap subgrup

$\bar{\bar{\bar{x}}}$  : Jumlah nilai rata-rata semua subgrup

Apabila  $n=1$  maka batas kontrol fase I seperti di bawah ini.

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad (2.18)$$

$$BKB = 0$$

Dimana

$p$  = banyaknya karakteristik kualitas

$m$  = jumlah subgrup

$n$  = jumlah sampel setiap subgrup

Nilai  $F_{\alpha;p;mn-m-p+1}$  merupakan nilai yang didapatkan dari tabel distribusi F dengan  $\alpha$  ditetapkan oleh peneliti dan derajat bebas  $p, mn-m-p+1$ . Pendekatan yang digunakan untuk menentukan karakteristik kualitas pada titik yang *out of control* adalah dengan mendekomposisi  $T^2$  menjadi komponen-komponen yang menggambarkan kontribusi dari masing-masing variabel. Jika  $T^2$  adalah suatu nilai tertentu dan  $T_i^2$  adalah nilai untuk semua variabel proses kecuali variabel ke- $i$ . Maka  $d_i$  adalah

$$d_i = T^2 - T_{(i)}^2 \quad (2.19)$$

Keterangan :

$d_i$  = indikator kontribusi relatif dari karakteristik kualitas ke- $i$  untuk keseluruhan statistik

$T^2$  = nilai statistik dari semua karakteristik kualitas proses

$T_{(i)}^2$  = nilai statistik dari semua karakteristik kualitas proses tanpa karakteristik ke- $i$

Nilai  $d_i$  ( $i=1,2,...,p$ ) dan nilai  $d_i$  dibandingkan dengan nilai  $\chi_{(\alpha,1)}^2$ .

Jika nilai  $T_i^2 > \chi_{\alpha,1}^2$  maka karakteristik kualitas ke- $i$  tersebut yang menjadi penyebab *out of control*.

**Tabel 2.3** Struktur Data Peta Kendali  $T^2$  Hotelling

Subgrup (k)	Sampel tiap subgrup (i)	Karakteristik Kualitas (j)				
		$x_j$	...	$x_j$	...	$x_p$
1	1	$x_{111}$	...	$x_{1j1}$	...	$x_{1p1}$
	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
	i	$x_{i11}$	...	$x_{ij1}$	...	$x_{ip1}$
	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
	n	$x_{n11}$	...	$x_{nj1}$	...	$x_{np1}$
	$\bar{x}$	$\bar{x}_{.11}$	...	$\bar{x}_{.j1}$	...	$\bar{x}_{.p1}$
	$s^2$	$s^2_{.11}$	...	$s^2_{.j1}$	...	$s^2_{.p1}$
K	1	$x_{11k}$	...	$x_{1jk}$	...	$x_{1pk}$
	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
	i	$x_{i1k}$	...	$x_{ijk}$	...	$x_{ipk}$
	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
	n	$x_{n1k}$	...	$x_{njk}$	...	$x_{npk}$
	$\bar{x}$	$\bar{x}_{.1k}$	...	$\bar{x}_{.jk}$	...	$\bar{x}_{.pk}$
	$s^2$	$s^2_{.1k}$	...	$s^2_{.jk}$	...	$s^2_{.pk}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m	1	$x_{11m}$	...	$x_{1jm}$	...	$x_{1pm}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	i	$x_{i1m}$	...	$x_{ijm}$	...	$x_{ipm}$
	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
	n	$x_{n1m}$	...	$x_{njm}$	...	$x_{npm}$
	$\bar{x}$	$\bar{x}_{.1m}$	...	$\bar{x}_{.jm}$	...	$\bar{x}_{.pm}$
	$s^2$	$s^2_{.1m}$	...	$s^2_{.jm}$	...	$s^2_{.pm}$
Rata-rata Keseluruhan		$\bar{\bar{x}}_{.1.}$	...	$\bar{\bar{x}}_{.j.}$	...	$\bar{\bar{x}}_{.p.}$
Varians Keseluruhan		$s^2_{.1.}$	...	$s^2_{.j.}$	...	$s^2_{.p.}$

Keterangan

i	= ukuran subgrup	; i = 1,2,...,n
j	= karakteristik kualitas	; j = 1,2,...,p
k	= jumlah subgrup	; k = 1,2,...,m

### 2.3 Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses merupakan suatu pengukuran yang digunakan untuk mengevaluasi keseluruhan proses. Jika asumsi peta kendali dalam keadaan terkendali dan data berdistribusi multivariat normal telah terpenuhi, maka nilai indeks kapabilitas proses ( $C_p$ ) multivariat berdasarkan Raissi (2009), dapat dihitung menggunakan metode *weightingaverage*. Berikut adalah persamaan untuk menghitung MPCIs (indeks kapabilitas multivariat).

$$MC_p = \sum_{j=1}^p G_j \times Cp(x_j) \quad (2.20)$$

$$MC_{pk} = \sum_{j=1}^p G_j \times Cpk(x_j) \quad (2.21)$$

Dimana  $MP_p$ ,  $MP_{pk}$  berturut-turut merupakan bentuk  $P_p$ ,  $P_{pk}$  dalam keadaan multivariat dengan  $G_j$  merupakan pembobot berdasarkan kepentingan dengan  $\sum_{j=1}^p G_j = 1$  yang didapatkan dari jumlah data yang masuk kedalam batas spesifikasi. Dengan persamaan indeks kapabilitas secara univariat menurut (Montgomery, 2009) adalah sebagai berikut.

$$C_p = \frac{BSA - BSB}{6\sigma} \quad (2.22)$$

$$C_{PK} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (2.23)$$

$$C_{pu} = \frac{BSA - \mu}{3\sigma} \quad (2.24)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - BSB}{3\sigma} \quad (2.25)$$

dimana BSA adalah batas spesifikasi atas, sedangkan BSB adalah batas spesifikasi bawah.

Indeks kapabilitas yang disarankan oleh *Automotive Industry Action Group* (AIAG) untuk proses dalam keadaan *in control* adalah  $C_p$  dan  $C_{PK}$  sedangkan untuk proses yang tidak dalam keadaan *in control*, lebih baik digunakan indeks *performance process*  $P_p$  dan  $P_{PK}$  (Montgomery, 2009). Hal ini dikarenakan ketika proses dalam kondisi *out of control*, nilai varians tidak dapat ditaksir dari nilai sampel. Perhitungan indeks  $P_p$  dan  $P_{PK}$  untuk data univariat adalah sebagai berikut.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6\hat{\sigma}_{overall}} \quad (2.26)$$

$$P_{PK} = \min \left\{ \frac{BSA - \bar{x}}{3\hat{\sigma}_{overall}}, \frac{\bar{x} - BSB}{3\hat{\sigma}_{overall}} \right\} \quad (2.27)$$

Sehubungan dengan adanya dua karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini, maka indeks *performance process* secara multivariat cocok digunakan terutama dengan mempertimbangkan pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Raissi, 2009).

$$MP_p = \sum_{j=1}^p G_j \times Pp(x_j) \quad (2.28)$$

$$MP_{pk} = \sum_{j=1}^p G_j \times Ppk(x_j) \quad (2.29)$$

Indeks kapabilitas proses dilihat dari nilai  $C_p$  yang diperoleh dengan keterangan sebagai berikut (Kotz & Johnson, 1993).

- a. Jika  $C_p = 1$  maka proses dalam keadaan cukup baik
- b. Jika  $C_p > 1$  maka proses dalam keadaan baik (presisi baik)
- c. Jika  $C_p < 1$  maka sebaran data pengamatan berada diluar batas spesifikasi

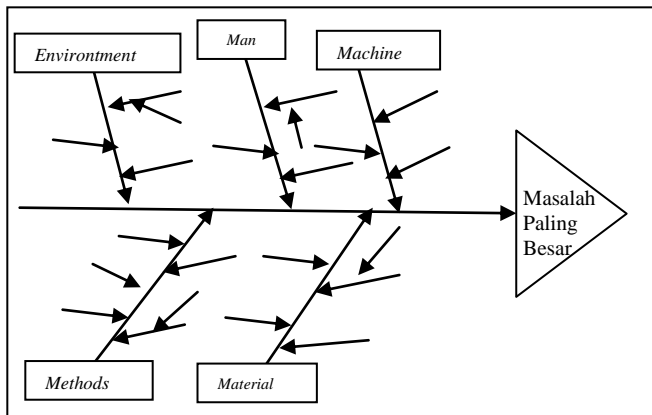
## 2.4 Diagram Ishikawa

Diagram tulang ikan atau yang biasa dikenal sebagai diagram ishikawa adalah sebuah diagram yang menunjukkan sebab dan akibat yang berguna untuk mencari atau menganalisis sebab-sebab timbulnya masalah. Pada umumnya faktor-faktor penyebab terjadinya masalah dapat dikategorikan menjadi beberapa kelompok yaitu material, man, methods, machine, dan environment atau yang dikenal dengan 4M+1E yang akan dijelaskan dengan sebab-sebab yang mempengaruhi pada setiap faktor (Montgomery, 2009). Diagram ishikawa dapat dilihat pada gambar 2.1

## 2.5 Sistem Kerja Dearator

Dearator adalah alat yang bekerja untuk membuang gas-gas yang terkandung dalam air ketel, sesudah melalui proses pemurnian air. Selain itu dearator bekerja berdasarkan sifat dari oksigen yang kelarutannya pada air akan berkurang dengan adanya kenaikan suhu. Alat dearator ini terdiri dari dua drum.





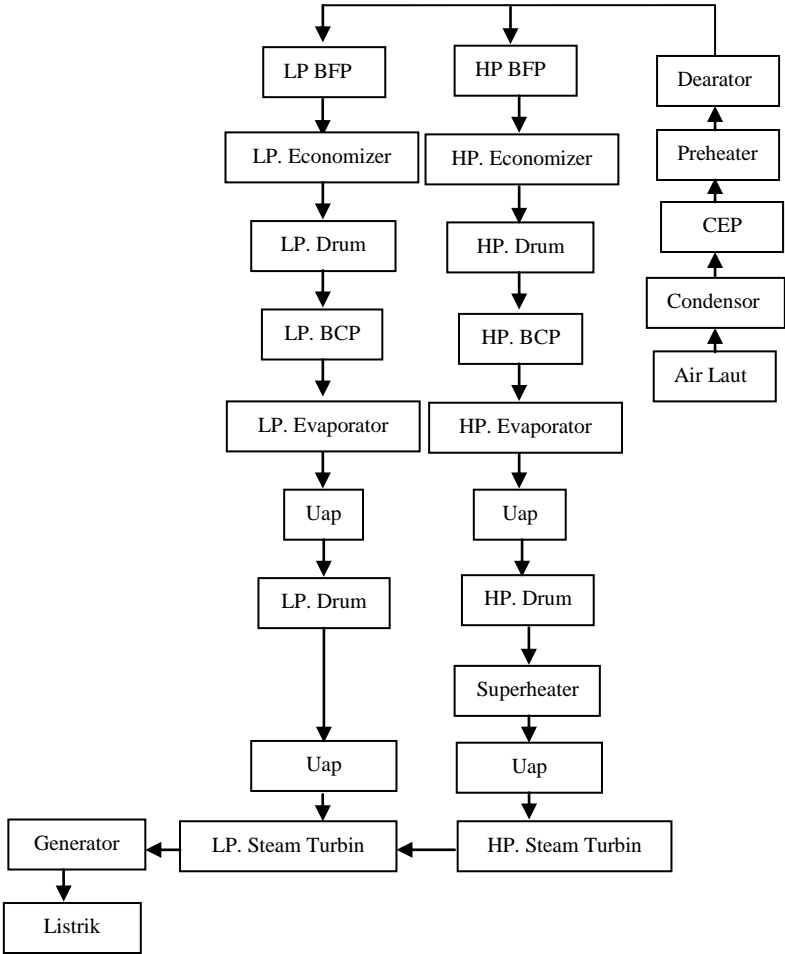
**Gambar 2.1** Diagram Ishikawa

Dimana yang lebih kecil merupakan tempat pemanasan pendahuluan dan pembuangan gas-gas dari bahan air ketel, sedangkan drum lebih besar adalah merupakan tempat penampungan bahan air ketel yang jatuh dari drum yang lebih kecil di atasnya. Pada drum yang lebih kecil terdapat *spray nozzle* yang berfungsi untuk menyemprotkan bahan air ketel menjadi butiran-butiran air halus agar proses pemanasan dan pembuangan gas-gas dari bahan air ketel lebih sempurna. Juga pada drum yang lebih kecil disediakan satu saluran vent agar gas-gas dapat terbang bersama uap ke atmosfer.

Unsur utama dalam menentukan keberhasilan dari proses ini adalah kontak fisik antara bahan air ketel dengan panas yang diberikan oleh uap. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada proses dearator adalah jumlah aliran air kondensator, jumlah aliran bahan air ketel, tekanan dalam dearator dan level air dalam dearator.

Jika dearator tidak dapat bekerja dengan baik, dapat berpengaruh buruk terhadap sistem air umpan, sistem kondensat, dan juga akan menaikkan pemakaian bahan kimia.

Hal ini dilakukan agar tidak menyebabkan terjadinya proses karat / korosi dalam pipa-pipa baik pada *heat exchanger* maupun boiler. Selain itu dearator juga berfungsi sebagai pemanas yang pada umumnya dengan cara kontak langsung dan fungsi penyimpanan air umpan boiler. Tangki penyimpanan air umpan berbentuk silinder dengan ujung-ujungnya berbentuk hemispherical. Tangki penyimpanan ini biasanya didesain dengan kapasitas setara dengan lima menit maksimum *feed water flow*. Kapasitas ini berdasarkan pada level normal pada tangki tersebut. Air umpan dari dearator dikumpulkan “sprouts” dan dialirkan pada kedua sisi vessel. Kemudian air mengalir ke bagian “suction feed water pump”. Kontruksi dearator terdiri dari “dearator-dome” dan *feedwatertank* yang secara detail konstruksinya tergantung dari desain masing-masing fabrikator. Penempatan dearator berada pada elevasi diatas pompa umpan (Boiler Feed Pump) agar Net Positive Suction Head (NPSH) terjadi secara maksimum. Salah satu jenis dearator adalah jenis steamjet. Dearator jenis ini diletakkan diatas tangki penyimpanan air umpan (*feedwater storage tank*) yang dihubungkan dengan pipa. Air yang harus didearasi dimasukkan ke dearator melalui header yang terletak dibagian atas vessel. Bagian atas dearator adalah “tray region”. Air mengalir berlawanan arah dengan arah uap setelah melewati “tray” dengan susunan tertentu. Aliran air yang jatuh meninggalkan tray berlubang mempunyai rasio permukaan dengan volume besar, untuk membentuk heat transfer dan menurunkan difusi “non condensable gas”. Bagian bawah dearator adalah daerah *steamjet*. Uap diekspansi pada orifice dan air disemprotkan untuk dikumpulkan pada suatu tempat.



**Gambar 2.2** Diagram Alir Proses Produksi Listrik

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Variabel Penelitian

Variabel kualitas yang diukur dalam penelitian merupakan faktor-faktor yang berpengaruh dalam sistem dearator adalah sebagai berikut.

1. *Conductivity* ( $X_1$ )

*Conductivity* adalah kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik. Digunakan sebagai kontrol konduktivitas air dalam dearator, serta sebagai sinyal pengontrol injeksi  $N_2H_4$  tiap  $\mu\text{s/cm}$

2. Tingkat Keasaman ( $X_2$ )

Tingkat keasamaan adalah tingkat konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) didalam air. Digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman dari air pada dearator, sehingga dapat dilakukan untuk mengatasinya jika terjadi *Out Of Control*. Batasan nilai tingkat keasaman adalah 8-9.

**Tabel 3.1** Variabel kualitas yang diukur

No	Karakteristik	Satuan	Batas Spek
1.	<i>Conductivity</i>	$\mu\text{s/cm}$	0-0,3
2.	Tingkat Keasaman	pH	8-9

Hubungan dari ketiga karakteristik kualitas tersebut adalah jika semakin besar tingkat keasaman dari kualitas air semakin rendah maka akan mempengaruhi *conductivity*-nya. Rangkuman variabel dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Sumber data yang digunakan pada penelitian berasal dari data sekunder dari data produksi pada sistem dearator PLTU unit 5 PT.X Jl. Raya Surabaya – Situbondo km 141 yang dibuktikan pada bukti pengambilan data pada Lampiran 17 dan surat pernyataan keaslian data pada Lampiran 18.. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari yaitu mengikuti jam operasional kerja dari PT. X yaitu pada pukul 00.00; 06.00; 09.00; 14.00; 16.00; dan 21.00. Data yang digunakan adalah periode proses

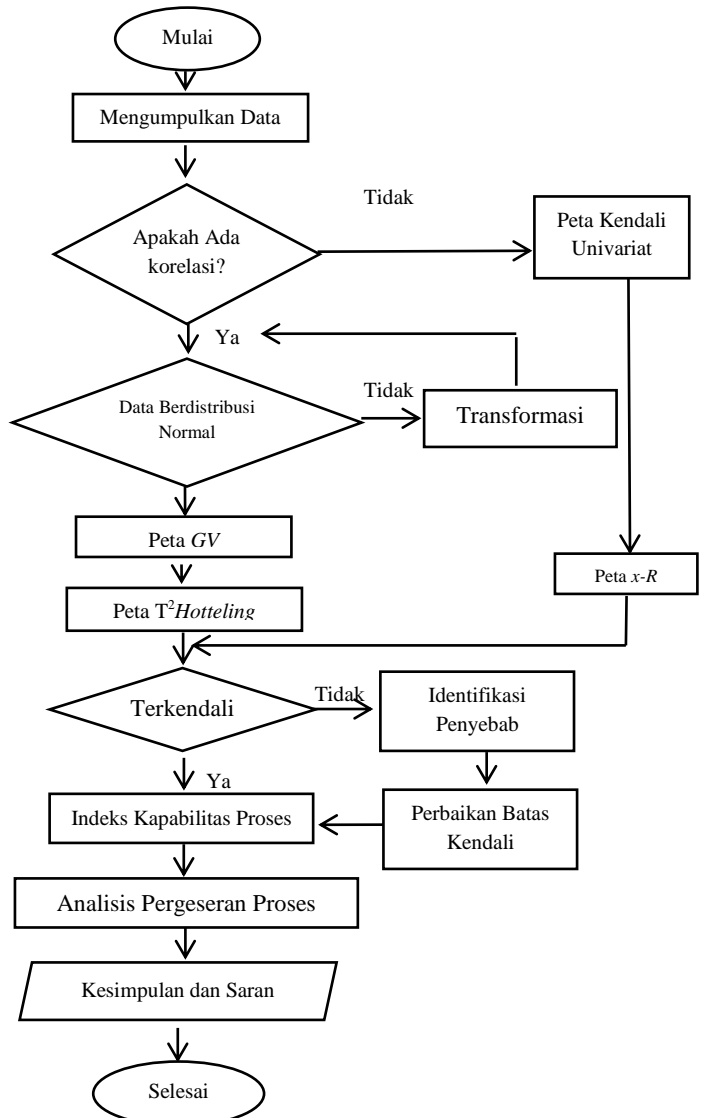
produksi listrik bulan Februari 2017 dan pada bulan Maret 2017. Struktur data yang digunakan pada penelitian ini seperti pada Tabel 2.1.

### 3.2 Langkah Analisis

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan analisis statistika deskriptif untuk mengetahui karakteristik data kualitas air pada sistem dearator apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.
2. Melakukan asumsi hubungan antar variabel menggunakan uji korelasi untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antar variabel. Jika tidak random, maka data ditambah dan diuji keacakan kembali sampai akhirnya data menunjukkan diambil secara acak.
3. Pengujian asumsi distribusi normal multivariat dengan menggunakan proporsi nilai jarak ( $d_j^2$ ). Apabila data di uji tidak normal maka dilakukan transformasi.
4. Membuat peta pengendalian kualitas dengan menggunakan peta *General Variance* untuk melihat variabilitas proses pada bulan Februari dan Maret 2017.
5. Membuat peta pengendalian kualitas dengan menggunakan peta  $T^2$  *Hotteling* untuk melihat mean proses pada bulan Februari dan Maret 2017.
6. Jika belum terkendali maka dilakukan perbaikan batas kendali dengan cara menghilangkan data yang *out of control*, kemudian identifikasi penyebab *out of control* dengan menggunakan diagram ishikawa.
7. Melakukan pengujian homogenitas matrix varian kovarian dengan menggunakan uji MANOVA multivariat. Jika tidak memenuhi maka dilakukan perbandingan vektor rata-rata menggunakan uji MANOVA univariat.
8. Menarik kesimpulan.

Secara skematik langkah analisis dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Langkah Analisis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASA

Analisis dan pembahasan pada penelitian ini dibagi menjadi 2. Analisis I menganalisis hasil proses produksi pada bulan Februari 2017. Analisis II yaitu menganalisis pada proses produksi bulan Maret 2017. Jika pada proses produksi belum terkendali maka dilakukan identifikasi penyebab terjadinya tidak terkendalinya proses dan mencari faktor-faktor penyebab.

#### 4.1 Analisis Kapabilitas Bulan Februari 2017

Analisis kapabilitas berdasarkan hasil proses produksi yang dihasilkan pada bulan Februari 2017 seperti pada Lampiran I. Sebelum dilakukan analisis pengendalian kualitas, maka dilakukan pengujian asumsi yang terpenuhi adalah variabel dalam pengamatan saling berkorelasi dan data berdistribusi normal multivariat. Dilakukan untuk memonitoring proses mean dengan menggunakan peta  $T^2$  *Hotteling* dan variabilitas proses dengan menggunakan peta *General Varians*.

##### 4.1.1 Deskripsi Data

Deskripsi data pada karakteristik kualitas air sistem dearator ini untuk mengetahui nilai rata-rata, standart deviasi, nilai minimum dan nilai maksimum dari hasil pengamatan pada proses sistem dearator di PT. X. Hasil analisis statistika deskriptif dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Deskripsi Data Karakteristik Kualitas

Variabel	Mean	StDev	Min	Maks	Spesifikasi
Conductivity	0,15355	0,0354	0,07	0,22	0-0,3
Tingkat Keasaman	9,1381	0,1019	8,88	9,34	8-9

Berdasarkan Tabel 4.1 atau dapat dilihat pada Lampiran 4 diketahui bahwa rata-rata dari karakteristik kualitas *conductivity* pada bulan Februari sebesar 0,15355 dengan



keragaman data sebesar 0,0354. Nilai rata-rata yang diperoleh pada variabel ini masih berada didalam batas spesifikasi yang ditentukan perusahaan yaitu antar 0-0,3 hal tersebut juga dapat dilihat dari nilai minimum dan maksimum yang berada didalam batas spesifikasi.

Karakteristik kualitas tingkat keasamaan pada bulan Maret dengan rata-rata sebesar 9,1381 dengan keragaman data sebesar 0,1019. Nilai rata-rata yang diperoleh pada variabel ini masih berada diluar batas spesifikasi yang ditentukan perusahaan yaitu maksimum sebesar 9 hal tersebut juga dapat dilihat dari nilai maksimum sebesar 9,34 yang berada diluar batas spesifikasi

#### **4.1.2 Pengujian Dependensi Antar Variabel Karakteristik Kualitas**

Untuk mengetahui informasi mengenai korelasi antara beberapa variabel dalam proses produksi pada sistem dearator secara keseluruhan, digunakan uji *pearson* dimana hipotesisnya sebagai berikut.

$H_0$  : antar variabel tidak berkorelasi

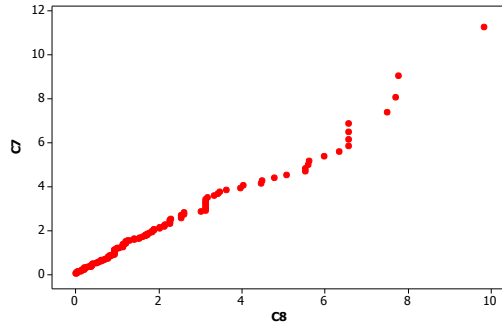
$H_1$  : antar variabel berkorelasi

Dari data pengamatan sebanyak 23 subgrup dan 2 variabel karakteristik kualitas sesuai data pada Lampiran 1, diperoleh hasil seperti pada Lampiran 2 yaitu nilai  $\chi^2_{hitung}$  0,2 yang lebih besar daripada  $\chi^2_{(0,5;1)}$  sebesar 0,134 p-value pada uji *pearson* bernilai 0,019 , sehingga diperoleh p-value kurang dari 0,05 maka  $H_0$  ditolak dan disimpulkan bahwa antar variabel dalam proses produksi sistem dearator terdapat korelasi.

#### **4.1.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat**

Pemeriksaan distribusi normal multivariat akan dilakukan pada ketiga karakteristik kualitas, yakni *Conductivity*, dan tingkat keasamaan pada data Lampiran 1 untuk mengetahui apakah proses produksi pada dearator berdistribusi normal

multivariat atau tidak. Pemeriksaan distribusi normal multivariat dilakukan dengan melihat *Chi-square* Plot  $d_i^2$  dengan  $q_c$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4.1** Asumsi Distribusi Normal Multivariat

Plot pada Gambar 4.1 atau dapat dilihat pada Lampiran 3 menunjukkan bahwa data *Conductivity* dan tingkat keasaman mengikuti distribusi normal selain itu dilakukan pengujian normal multivariat dengan digunakan macro minitab pada Lampiran 13 dimana hipotesis sebagai berikut.

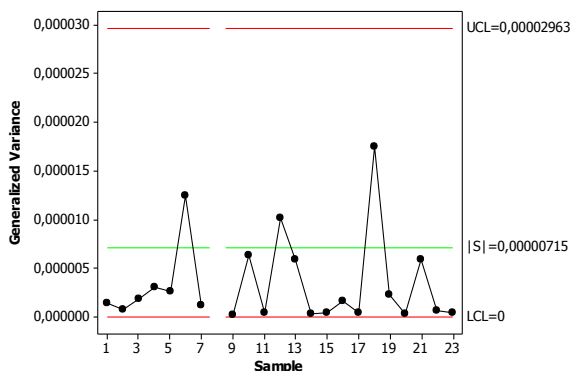
$H_0$  : Data tidak mengikuti distribusi normal multivariat

$H_1$  : Data mengikuti distribusi normal multivariat

Dengan menggunakan perhitungan didapatkan pada persamaan (2.3) dimana taraf signifikansi yang digunakan adalah  $\alpha=5\%$  dan daerah kritis yakni  $H_0$  ditolak jika  $t < 50\%$  dimana  $t$  merupakan nilai proporsi dari  $d_{jk}^2 < \chi_{\alpha, df}^2$ . Didapatkan nilai  $t$  sebesar 0,5362 seperti hasil *output* Lampiran 3. Dimana nilai  $t$  berada disekitar nilai 0,5 maka menghasilkan keputusan gagal tolak  $H_0$ . Sehingga pemeriksaan distribusi normal multivariat menghasilkan kesimpulan bahwa data berdistribusi normal multivariat. Maka analisis multivariat bisa dilakukan

#### 4.1.4 Analisis Peta *Generalized Variance*

Setelah uji asumsi terpenuhi selanjutnya melakukan analisis pengendalian kualitas air pada sistem dearator. Pengendalian variabilitas proses dilakukan menggunakan peta kendali *generalized variance*. Analisis dilakukan menggunakan data proses produksi pada sistem dearator di PT. X dengan menggunakan karakteristik *conductivity* dan tingkat keasaman. Hasilnya ditunjukkan melalui Gambar 4.2



**Gambar 4.2** Peta *Generalized Variance*

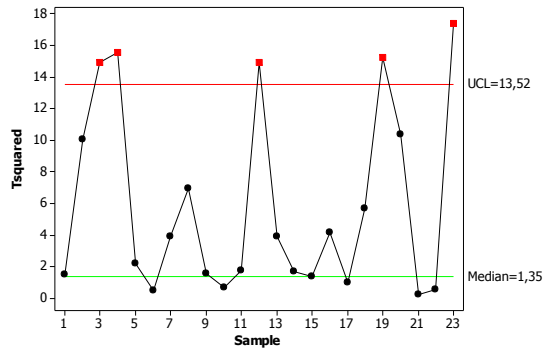
Gambar 4.2 atau dapat dilihat pada Lampiran 5 menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi pada sistem dearator di PT. X telah terkendali secara statistik karena semua sampel titik pengamatan berada dalam batas kendali.

#### 4.1.5 Analisis Peta $T^2$ Hotteling

Setelah varians proses terkendali secara statistik maka dapat dilakukan analisis selanjutnya menggunakan peta  $T^2$  Hotteling untuk melihat kualitas produk berdasarkan rata-rata proses. Pengendalian kualitas rata-rata proses menggunakan peta  $T^2$  Hotteling. Hasilnya bisa dilihat pada Gambar 4.3.

Gambar 4.3 atau dapat dilihat pada Lampiran 6 menunjukan bahwa monitoring dari proses produksi pada sistem dearator

bulan Februari ada plot yang keluar dari batas kendali atas yaitu pada pengamatan ke-3, ke-4, ke-12, ke-19 dan ke-23 dengan nilai masing-masing 14,92; 15,57; 14,92; 15,26; dan 17,39 hal tersebut bahwa rata-rata proses sistem dearator berdasarkan pada hasil inspeksi belum terkendali secara statistik.

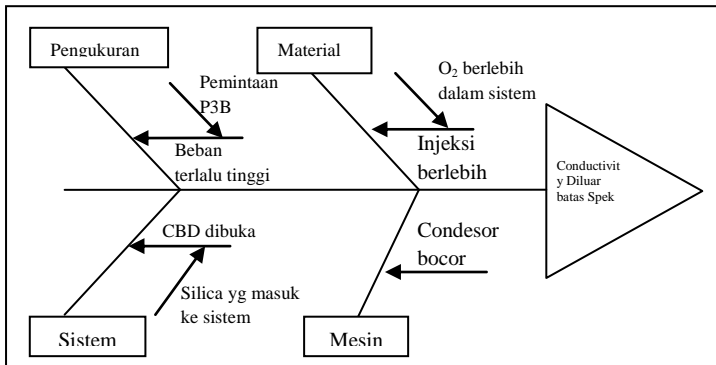


**Gambar 4.3** Peta kendali  $T^2$  Hotelling

Identifikasi faktor-faktor penyebab tidak terkendalnya proses dilakukan agar perusahaan dapat meningkatkan kualitas produksinya sehingga tidak mengalami kerugian. Variabel-variabel penyebab tidak terkendalnya proses yang berdasarkan *output software minitab* pada Lampiran 6 menunjukkan bahwa variabel penyebab tidak terkendalnya proses masing-masing subgrup yang berada diluar batas kendali atas. Variabel *conductivity* merupakan variabel yang paling dominan menyebabkan tidak terkendalnya proses sedangkan variabel tingkat keasaman yang paling sedikit menyebabkan tidak terkendalnya proses. Dari hasil analisis diketahui bahwa masih perlu dilakukan identifikasi tidak terkendalnya proses.

Gambar 4.4 menunjukkan diagram ishikawa yang digunakan untuk menjelaskan hubungan sebab-akibat tidak terkendalnya proses pada sistem dearator bulan februari. Faktor pengukuran memiliki penyebab yaitu beban terlalu tinggi yang diminta oleh P3B. Faktor material berasal dari injeksi yang

berlebihan disebabkan oleh oksigen yang masuk kedalam sistem terlalu banyak. Faktor sistem penyebabnya adalah CBD yang dibuka karena adanya silica yang masuk kedalam sistem. Faktor mesin disebabkan dari condensor yang mengalami kebocoran.



**Gambar 4.4** Faktor-faktor penyebab tidak terkendalinya proses

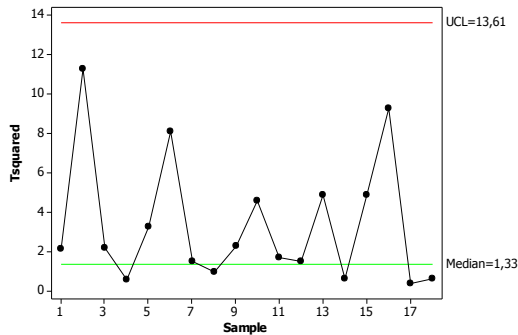
Setelah mengetahui faktor-faktor penyebab tidak terkendalinya pada variabilitas dan mean proses pada bulan februari maka pengamatan yang berada diluar batas kendali dikeluarkan dan dilakukan perbaikan. Perbaikan batas kendali pertama sudah terkendali dalam mean proses yang ditampilkan pada Gambar 4.5.

Gambar 4.5 atau dapat dilihat pada Lampiran 6 menunjukkan bahwa berdasarkan pada proses sistem dearator telah terkendali secara statistik karena tidak ada titik-titik pengamatan yang keluar dari batas kendali atas. Pada gambar tersebut dapat ddilihat bahwa diagram kontrol setelah perbaikan memiliki batas kendali atas sebesar 16,75.

## 4.2 Analisis Kapabilitas Bulan Maret

Analisis kapabilitas berdasarkan hasil proses produksi yang dihasilkan pada bulan Maret 2017 seperti pada Lampiran 7. Sebelum dilakukan analisis pengendalian kualitas, maka

dilakukan pengujian asumsi yang terpenuhi adalah variabel dalam pengamatan saling berkorelasi dan data berdistribusi normal multivariat. Dilakukan untuk memonitoring proses mean dengan menggunakan peta  $T^2$  Hotelling dan variabilitas proses dengan menggunakan peta *General Varians*.



Gambar 4.5 Peta  $T^2$  Hotelling setelah perbaikan

#### 4.2.1 Deskripsi Data

Deskripsi data pada karakteristik kualitas air sistem dearator ini untuk mengetahui nilai rata-rata, standart deviasi, nilai minimum dan nilai maksimum dari hasil pengamatan pada proses sistem dearator di PT. X. Hasil analisis statistika deskriptif dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Deskripsi Data Karakteristik Kualitas

Variabel	Mean	StDev	Min	Maks	Spesifikasi
Conductivity	0,09848	0,03068	0,06	0,18	0-0,3
Tingkat Keasaman	9,1639	0,2882	8	9,5	8-9

Berdasarkan Tabel 4.2 atau dapat dilihat pada Lampiran 10 diketahui bahwa rata-rata dari karakteristik kualitas *conductivity* pada bulan Maret 2017 sebesar 0,09848 dengan keragaman data sebesar 0,03068. Nilai rata-rata yang diperoleh pada variabel ini masih berada didalam batas spesifikasi yang ditentukan perusahaan yaitu antar 0-0,3 hal tersebut juga dapat

dilihat dari nilai minimum dan maksimum yang berada didalam batas spesifikasi.

Karakteristik kualitas tingkat keasamaan pada bulan Maret dengan rata-rata sebesar 9,1639 dengan keragaman data sebesar 0,2882. Nilai rata-rata yang diperoleh pada variabel ini masih berada diluar batas spesifikasi yang ditentukan perusahaan yaitu maksimum sebesar 9 hal tersebut juga dapat dilihat dari nilai maksimum sebesar 9,5 yang berada diluar batas spesifikasi

#### **4.2.2 Pengujian Dependensi Antar Variabel Karakteristik Kualitas**

Untuk mengetahui informasi mengenai korelasi antara beberapa variabel dalam proses produksi pada sistem dearator secara keseluruhan, digunakan uji *pearson* dimana hipotesisnya sebagai berikut.

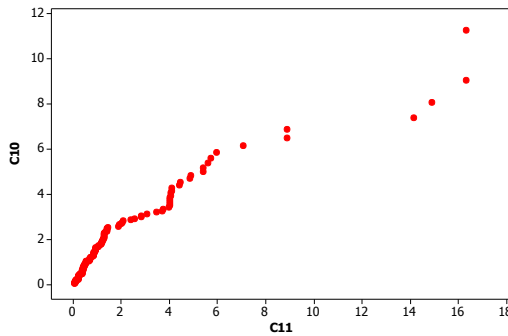
$H_0$  : antar variabel tidak berkorelasi

$H_1$  : antar variabel berkorelasi

Dari data pengamatan sebanyak 23 subgrup dan 2 variabel karakteristik kualitas sesuai data pada Lampiran 7, diperoleh hasil seperti pada Lampiran 8 yaitu nilai  $\chi^2_{hitung}$  0,2 yang lebih besar daripada  $\chi^2_{(0.5;1)}$  sebesar 0,134 dan p-value pada uji korelasi bernilai 0,19 , sehingga diperoleh p-value kurang dari 0,05 maka  $H_0$  ditolak dan disimpulkan bahwa antar variabel dalam proses produksi sistem dearator terdapat korelasi.

#### **4.2.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat**

Pemeriksaan distribusi normal multivariat akan dilakukan pada ketiga karakteristik kualitas, yakni *Conductivity*, dan tingkat keasamaan pada data Lampiran 9 untuk mengetahui apakah proses produksi pada dearator berdistribusi normal multivariat atau tidak. Pemeriksaan distribusi normal multivariat dilakukan dengan melihat *Chi-square* Plot  $\mathbf{d}_i^2$  dengan  $\mathbf{q}_c$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.



**Gambar 4.6** Asumsi Distribusi Normal Multivariat

Plot pada Gambar 4.6 atau dapat dilihat pada Lampiran 9 menunjukkan bahwa data *Conductivity* dan tingkat keasaman mengikuti distribusi normal selain itu dilakukan pengujian normal multivariat dengan digunakan macro minitab pada Lampiran 13 dimana hipotesis sebagai berikut.

$H_0$  : Data tidak mengikuti distribusi normal multivariat

$H_1$  : Data mengikuti distribusi normal multivariat

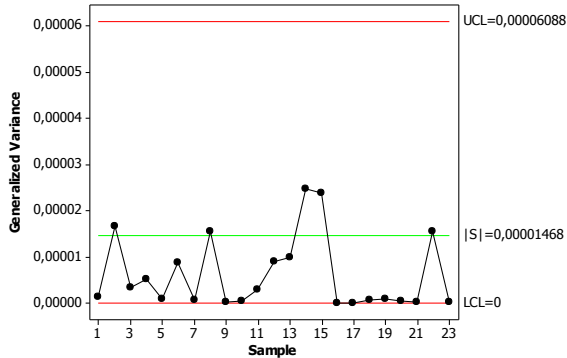
Dengan menggunakan perhitungan didapatkan pada persamaan (2.3) dimana taraf signifikansi yang digunakan adalah  $\alpha=5\%$  dan daerah kritis yakni  $H_0$  ditolak jika  $t < 50\%$  dimana  $t$  merupakan nilai proporsi dari  $d_{jk}^2 < \chi_{\alpha,df}^2$ . Didapatkan nilai  $t$  sebesar 0,68115 seperti hasil *output* Lampiran 9. Dimana nilai  $t$  berada disekitar nilai 0,5 maka menghasilkan keputusan gagal tolak  $H_0$ . Sehingga pemeriksaan distribusi normal multivariat menghasilkan kesimpulan bahwa data berdistribusi normal multivariat. Maka analisis multivariat bisa dilakukan.

#### 4.2.4 Analisis Peta *General Variance*

Setelah uji asumsi terpenuhi selanjutnya melakukan analisis pengendalian kualitas air pada sistem dearator. Pengendalian variabilitas proses dilakukan menggunakan peta *generalized variance*. Analisis dilakukan menggunakan



data proses produksi pada sistem dearator di PT. X dengan menggunakan karakteristik *conductivity* dan tingkat keasaman. Hasilnya ditunjukkan melalui Gambar 4.7



**Gambar 4.7** Peta *Generalized Variance*

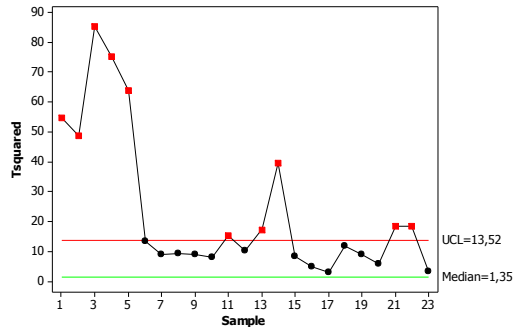
Gambar 4.7 atau dapat dilihat pada Lampiran 11 menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi pada sistem dearator di PT. X telah terkendali secara statistik karena semua sampel titik pengamatan berada dalam batas kendali.

#### 4.2.5 Analisis Peta $T^2$ Hotteling

Setelah varians proses terkendali secara statistik maka dapat dilakukan analisis selanjutnya menggunakan peta  $T^2$  Hotteling untuk melihat kualitas produk berdasarkan rata-rata proses. Pengendalian kualitas rata-rata proses menggunakan peta  $T^2$  Hotteling. Hasilnya bisa dilihat pada Gambar 4.8.

Gambar 4.8 atau dapat dilihat pada Lampiran 12 menunjukan bahwa monitoring dari proses produksi pada sistem dearator bulan Maret 2017 ada plot yang keluar dari batas kendali atas yaitu pada pengamatan ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, ke-5, ke-11, ke-13, ke-14, ke-21 dan ke-22 hal tersebut bahwa rata-rata proses sistem dearator berdasarkan pada hasil inspeksi belum terkendali dalam proses *meandengan* menggunakan batas

kendali pada bulan Februari 2017 sehingga perlu dilakukan perbandingan proses bulan Februari dan Maret 2017.



**Gambar 4.8** Peta kendali  $T^2$  Hotteling

Perbandingan dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara bulan Februari dan Maret terhadap kualitas air. Untuk mengetahui itu maka digunakan *multivariate of variance (MANOVA)* seperti pada Lampiran 16. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 4.3

**Tabel 4.4** Hasil Analisis MANOVA

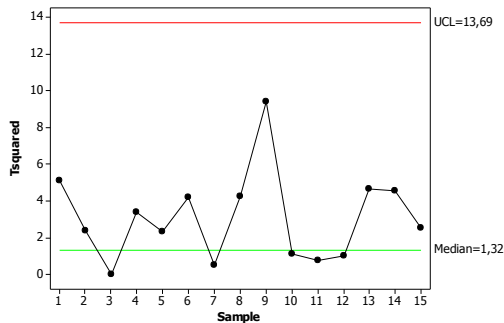
Statistik Uji	Nilai	Sig.
Wils' Lamda	204270,780 <sup>b</sup>	0,000

Tabel 4.3 atau dapat dilihat pada Lampiran 16 menjelaskan bahwa nilai dari wils lamda memiliki nilai signifikansi yaitu 0,00. Jika dibandingkan dengan  $\alpha$  sebesar 0,05 nilai tersebut lebih kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara bulan Februari dan Maret 2017 terhadap kualitas air.

Variabel-variabel penyebab tidak terkendalinya proses yang berdasarkan *output software minitab* pada Lampiran 12 menunjukkan bahwa variabel penyebab tidak terkendalinya proses masing-masing subgroup yang berada diluar batas kendali atas. Variabel *conductivity* merupakan variabel yang paling dominan menyebabkan tidak terkendalinya proses sedangkan

variabel tingkat keasaman yang paling sedikit menyebabkan tidak terkendalinya proses. Dari hasil analisis diketahui bahwa masih perlu dilakukan identifikasi tidak terkendalinya proses seperti Gambar 4.4.

Setelah mengetahui faktor-faktor penyebab tidak terkendalinya pada variabilitas dan mean proses pada bulan Maret 2017 maka pengamatan yang berada diluar batas kendali dikeluarkan dan dilakukan perbaikan. Perbaikan batas kendali pertama sudah terkendali dalam mean proses yang ditampilkan pada Gambar 4.9



**Gambar 4.9** Peta  $T^2$  Hotelling setelah perbaikan

Gambar 4.9 atau dapat dilihat pada Lampiran 12 menunjukkan bahwa berdasarkan pada proses sistem dearator telah terkendali secara statistik karena tidak ada titik-titik pengamatan yang keluar dari batas kendali atas. Pada gambar tersebut dapat ddilihat bahwa diagram kontrol setelah perbaikan memiliki batas kendali atas sebesar 13,69.

### 4.3 Indeks Kapabilitas Proses

Setelah dilakukan analisis peta kendali multivariat dan sudah terkendali pada Februari maupun bulan Maret selanjutnya adalah menghitung indeks kapabilitas proses untuk Februari dan bulan Maret 2017 menggunakan  $P_p$  dan  $P_{pk}$ . Tabel 4.4 merupakan hasil pengukuran secara univariat berdasarkan data

pada Lampiran 1 dan 7 setelah dilakukan revisi sesuai dengan *output* Lampiran 14 dan 15.

**Tabel 4.4** Indeks Kapabilitas Proses Univariat

Variabel	Februari 2017		Maret 2017	
	P <sub>P</sub>	P <sub>PK</sub>	P <sub>P</sub>	P <sub>PK</sub>
<i>Conductivity</i>	1,63	1,57	3,06	1,82
Tingkat Keasaman	1,83	-0,52	0,73	-0,28

Tabel 4.4 atau dapat dilihat pada Lampiran 15 dan 16 menunjukkan bahwa variabel kulit *conductivity* pada bulan Februari dan bulan Maret 2017 secara univariat menunjukkan kedekatan antar hasil proses produksi sangat signifikan, hal ini dikarenakan nilai P<sub>p</sub> lebih besar dari 1. Sedangkan hasil proses produksi sangat jauh dengan nilai target, hal ini dikarenakan nilai P<sub>pk</sub> kurang dari 1. Karakteristik kulit tingkat keasaman pada bulan Februari 2017 secara univariat mempunyai nilai P<sub>p</sub> lebih dari satu yang artinya kedekatan antar hasil proses produksi sangat signifikan dan bulan Maret 2017 secara univariat mempunyai nilai P<sub>p</sub> kurang dari satu yang artinya kedekatan antar hasil proses produksi tidak signifikan, sedangkan berdasarkan nilai P<sub>pk</sub> kurang dari satu yang artinya hasil proses produksi sangat dekat dengan nilai target. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas air pada bulan Februari dan bulan Maret berdasarkan karakteristik kualitas secara univariat variabel tingkat keasaman tidak kapabel, sedangkan *conductivity* kapabel. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan indeks kapabilitas secara multivariate berdasarkan nilai P<sub>p</sub> dan P<sub>pk</sub> pada tabel 4.4. Berikut ini adalah perhitungan indeks kapabilitas multivariate.

Bulan Februari :

$$MP_p = (0,50 \times 1,63) + (0,50 \times 1,83)$$

$$MP_p = 1,73$$

$$MP_{PK} = (0,50 \times 1,83) + (0,50 \times -0,52)$$

$$MP_{PK} = 0,655$$

Bulan Maret :

$$MP_p = (0,50 \times 3,06) + (0,50 \times 0,73)$$

$$MP_p = 1,5665$$

$$MP_{PK} = (0,50 \times 1,82) + (0,50 \times -0,28)$$

$$MP_{PK} = 0,77$$

**Tabel 4.5** Indeks Kapabilitas Proses Multivariat

	<b>MP<sub>p</sub></b>	<b>MP<sub>PK</sub></b>
Februari 2017	1,73	0,655
Maret 2017	1,5665	0,77

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai indeks kapabilitas proses kualitas air secara multivariat di bulan Februari dan bulan Maret tidak kapabel. Nilai  $MP_p$  yaitu dari 1,73 menjadi 1,5665 yang berarti terjadi penurunan dari kualitas air, sedangkan pada nilai  $MC_{pk}$  mengalami kenaikan dari 0,655 menjadi 0,77 yang berarti nilai kedekatan dengan dengan target yang ditentukan semakin sesuai. Nilai presisi lebih dari satu sedangkan akurasi kurang dari satu. Artinya nilai kemampuan proses kualitas air pada bulan Februari dan bulan Maret tidak kapabel.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada Bab IV dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Secara umum didapatkan bahwa kualitas air bulan Februari dan pada bulan Maret indeks kapabilitas proses yang  $M_p > 1$  dan  $M_{pk} < 1$  yang artinya proses belum kapabel, didapatkan bahwa kualitas dari air terjadi penurunan akan tetapi kualitas air semakin mendekati batas yang telah ditentukan oleh perusahaan, jika dilihat dari tiap variabel didapatkan variabel *conductivity* memiliki nilai presisi dan akurasi  $> 1$  yang artinya proses telah kapabel sedangkan variabel tingkat keasaman memiliki nilai presisi dan akurasi  $< 1$  yang artinya proses belum kapabel.
2. Variabel utama penyebab tidak terkendali proses jika dilihat secara keseluruhan adalah *conductivity* terlalu tinggi. Sedangkan faktor-faktor penyebabnya dikelompokkan dalam 4 faktor utama yaitu pengukuran, material, sistem dan mesin
  - a. Faktor pengukuran disebabkan oleh beban yang diminta P3B terlalu tinggi
  - b. Faktor material antara lain injeksi  $N_2H_4$  terlalu banyak karena oksigen terlalu banyak masuk ke sistem
  - c. Faktor sistem disebabkan CBD yang dibuka dikarenakan terjadi over didalam dearator.
  - d. Faktor mesin disebabkan oleh condensor mengalami kebocoran.

#### 5.2 Saran

Saran yang diberikan adalah pihak PT. X masih perlu untuk melakukan perbaikan pada proses sistem dearator untuk

karakteristik kualitas air terutama Tingkat Keasaman dan *Conductivity*, karena variabel tersebut merupakan bahan utama dalam sistem dearator. Faktor-faktor tidak terkendalinya proses yang sudah ada pada analisis dan pembahasan perlu menjadi perhatian bagi PT. X.



## DAFTAR PUSTAKA

- Kotz, S., & Johnson, N. (1993). *Process Capability Indices*. London: United Kingdom: Chapman & Hall.
- JOHNSON, R. A., & WICHERN, D. 2007. APPLIED MULTIVARIAT STATISTICAL ANALYSIS. NEW JERSEY: PRENTICE HALL.
- LESTARI, F. 2009. ANALISIS STATISTIK TERHADAP KUALITAS AIR INTERNAL BOILER PLTU UNIT 1 DI PJB UNIT PEMBANGKIT GRESIK. LAPORAN TUGAS AKHIR D3 STATISTIKA FMIPA ITS, SURABAYA.
- Montgomery, D.C.(2009). *Statistical Quality Control: A modern introduction (six edition)*. United States: Jhon Wiley and Sons (Asia) Pte.Ltd.
- Morrison, D. F. (1990) *Multivariate Statistical Method* (3rd ed.). USA: McGraw-Hill, Inc.
- Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices On The Presence Of Priority For Quality Characteristics. *Journal of Industrial Engineering International Vol. 5, No. 9*, 27-36.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**Lampiran 1.** Data Proses Produksi pada Sistem Dearator PLTU  
Unit 5 Bulan Februari 2017

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
1	1	0,16	8,96
	2	0,15	8,95
	3	0,13	9,2
	4	0,15	9,2
	5	0,14	9,2
	6	0,13	9,1
2	1	0,14	9,22
	2	0,14	9,22
	3	0,14	9,18
	4	0,16	9,2
	5	0,1	9,2
	6	0,1	9,3
3	1	0,13	9,09
	2	0,13	9,15
	3	0,12	9,2
	4	0,12	9,18
	5	0,08	8,98
	6	0,07	8,95
4	1	0,08	9,14
	2	0,07	9,18
	3	0,07	9,1
	4	0,07	9,1
	5	0,19	9,08
	6	0,16	9,06

**Lampiran 1.** (lanjutan)

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
5	1	0,19	9,06
	2	0,18	9,06
	3	0,1	9,1
	4	0,1	9,1
	5	0,19	9,12
	6	0,22	9,14
6	1	0,18	9,23
	2	0,18	9,23
	3	0,1	9,2
	4	0,1	9,2
	5	0,2	9,07
	6	0,15	9,04
7	1	0,18	9,23
	2	0,18	9,23
	3	0,16	9,2
	4	0,16	9,2
	5	0,2	9,07
	6	0,18	9,04
8	1	0,15	9,04
	2	0,15	9,04
	3	0,15	9,04
	4	0,15	9,04
	5	0,15	9,04
	6	0,18	9,04

**Lampiran 1.(lanjutan)**

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
9	1	0,15	9,04
	2	0,15	9,04
	3	0,17	9,19
	4	0,17	9,19
	5	0,17	9,08
	6	0,16	9,08
10	1	0,1	9,2
	2	0,1	9,2
	3	0,18	9,2
	4	0,16	9,14
	5	0,18	9,18
	6	0,16	9,02
11	1	0,14	9,1
	2	0,12	9,16
	3	0,15	9,12
	4	0,15	9,11
	5	0,17	9,06
	6	0,17	8,98
12	1	0,15	8,9
	2	0,1	8,9
	3	0,15	9,18
	4	0,15	9,09
	5	0,1	9,1
	6	0,1	8,9

**Lampiran 1.**(lanjutan)

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
13	1	0,1	9,2
	2	0,17	9,3
	3	0,19	9,25
	4	0,16	9,14
	5	0,1	9,1
	6	0,1	9,1
14	1	0,17	9,3
	2	0,15	9,22
	3	0,16	9,27
	4	0,15	9,13
	5	0,15	9,1
	6	0,16	9,1
15	1	0,15	9,2
	2	0,14	9,23
	3	0,14	9,14
	4	0,15	9,13
	5	0,18	9,15
	6	0,15	9,23
16	1	0,15	9,1
	2	0,15	9,19
	3	0,1	9,2
	4	0,1	9,2
	5	0,16	9,23
	6	0,16	9,19

**Lampiran 1.** (lanjutan)

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
17	1	0,16	9,18
	2	0,16	9,16
	3	0,16	9,1
	4	0,16	9,1
	5	0,2	9,19
	6	0,15	9,17
18	1	0,2	8,92
	2	0,19	8,9
	3	0,19	9,2
	4	0,19	9,2
	5	0,13	9,29
	6	0,19	9,33
19	1	0,2	9,18
	2	0,2	9,18
	3	0,21	9,31
	4	0,21	9,33
	5	0,18	9,05
	6	0,2	8,88
20	1	0,2	9,1
	2	0,2	9,1
	3	0,2	9,22
	4	0,18	9,21
	5	0,18	9,13
	6	0,19	9,11

**Lampiran 1.** (lanjutan)

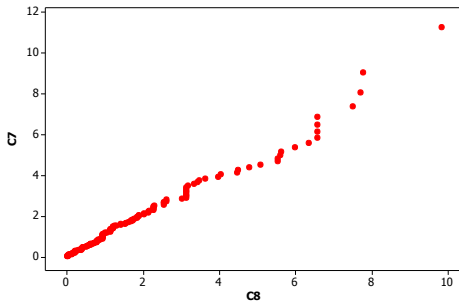
No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
21	1	0,1	9
	2	0,1	9,12
	3	0,18	9,1
	4	0,18	9,1
	5	0,18	9,2
	6	0,18	9,2
22	1	0,1	8,9
	2	0,1	8,9
	3	0,18	9,18
	4	0,19	9,25
	5	0,19	9,22
	6	0,18	9,23
23	1	0,17	9,3
	2	0,18	9,28
	3	0,2	9,34
	4	0,18	9,34
	5	0,18	9,2
	6	0,19	9,2

**Lampiran 2.***Output Uji Korelasi*

Pearson correlation of Conductivity and Keasaman =  
0,200  
P-Value = 0,019



### Lampiran 3. *Output* Distribusi Normal Multivariat



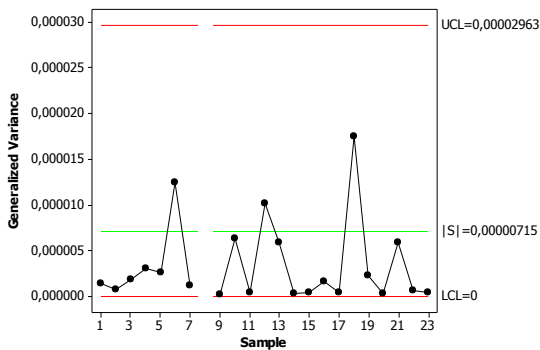
Prop 0,536232

### Lampiran 4. *Output* Deskripsi Data

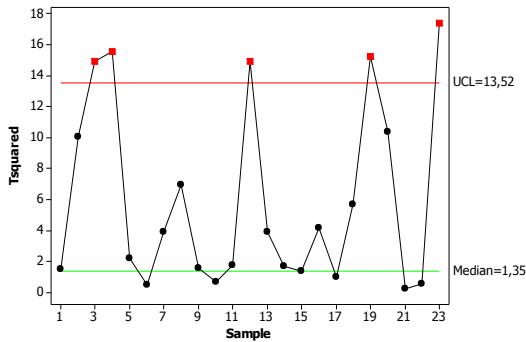
#### Descriptive Statistics: Conductivity; Keasaman

Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
Conductivity	138	0	0,15355	0,03549	0,07000	0,22000
Keasaman	138	0	9,1381	0,1019	8,8800	9,3400

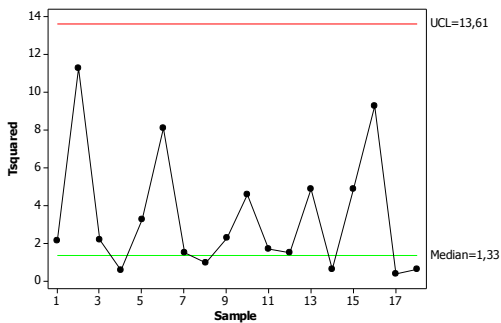
### Lampiran 5. Hasil Analisa menggunakan peta *GV*



## Lampiran 6. Hasil Analisis Menggunakan Peta $T^2$ Hotelling



Sebelum  
Perbaikan



Setelah  
Perbaikan

### Test Results for Tsquared Chart of Conductivity; Keasaman

	Point	Variable	P-Value
Greater Than UCL	3	Conductivity	0,0003
	4	Conductivity	0,0001
	12	Conductivity	0,0498
		Keasaman	0,0025
	19	Conductivity	0,0001
	23	Conductivity	0,0434
		Keasaman	0,0009

**Lampiran 7.** Data Proses Produksi pada Sistem Dearator PLTU  
Unit 5 Bulan Maret 2017.

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
1	1	0,1	9,24
	2	0,1	9,3
	3	0,16	9,36
	4	0,14	9,33
	5	0,17	9,3
	6	0,18	9,37
2	1	0,1	9,3
	2	0,1	9,3
	3	0,17	9,27
	4	0,16	9,26
	5	0,16	9,02
	6	0,15	8,99
3	1	0,16	9,3
	2	0,16	9,01
	3	0,13	9,22
	4	0,13	9,32
	5	0,17	9,14
	6	0,17	9,17
4	1	0,16	9,33
	2	0,15	9,3
	3	0,13	9,34
	4	0,16	9,2
	5	0,14	8,85
	6	0,16	9,25

**Lampiran 7.Lanjutan.**

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
5	1	0,16	9,34
	2	0,16	9,33
	3	0,13	9,31
	4	0,14	9,31
	5	0,15	9,3
	6	0,13	9,5
6	1	0,12	9,32
	2	0,12	9,32
	3	0,11	9,36
	4	0,13	9,36
	5	0,11	8,7
	6	0,13	8,7
7	1	0,13	9,26
	2	0,12	9,18
	3	0,11	9,33
	4	0,13	9,33
	5	0,1	9,3
	6	0,1	9,3
8	1	0,08	9,26
	2	0,07	9,2
	3	0,09	9,28
	4	0,09	9,27
	5	0,09	8,58
	6	0,09	8,06

**Lampiran 7.Lanjutan.**

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
9	1	0,09	9,31
	2	0,09	9,33
	3	0,08	9,3
	4	0,08	9,5
	5	0,08	9,3
	6	0,08	9,2
10	1	0,07	9,1
	2	0,09	9,1
	3	0,09	9,2
	4	0,09	9,2
	5	0,08	9,23
	6	0,07	9,22
11	1	0,07	9,2
	2	0,07	9,31
	3	0,08	9,2
	4	0,08	9,3
	5	0,08	8,59
	6	0,08	8,46
12	1	0,07	9,16
	2	0,08	9,08
	3	0,09	9,07
	4	0,11	8,6
	5	0,07	9,3
	6	0,07	8,8

**Lampiran 7.Lanjutan.**

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
13	1	0,07	9,3
	2	0,08	9,2
	3	0,09	9,24
	4	0,07	9,3
	5	0,07	8,76
	6	0,07	8,31
14	1	0,07	8
	2	0,07	8
	3	0,07	9,32
	4	0,07	9,33
	5	0,09	8,99
	6	0,07	8,31
15	1	0,06	8,7
	2	0,09	8,7
	3	0,08	9,26
	4	0,08	9,25
	5	0,11	9,33
	6	0,07	9,29
16	1	0,09	9,34
	2	0,1	9,31
	3	0,09	9,32
	4	0,07	9,32
	5	0,09	9,31
	6	0,09	9,29

**Lampiran 7.Lanjutan.**

No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
17	1	0,09	9,31
	2	0,09	9,28
	3	0,09	9,38
	4	0,09	9,38
	5	0,1	9,3
	6	0,1	9,3
18	1	0,09	9,2
	2	0,08	9,3
	3	0,07	9,28
	4	0,07	9,29
	5	0,07	9,1
	6	0,09	9,2
19	1	0,1	9,25
	2	0,07	9,12
	3	0,08	9,34
	4	0,08	9,33
	5	0,07	9,2
	6	0,09	9,29
20	1	0,08	9
	2	0,09	9,23
	3	0,08	9,23
	4	0,08	9,32
	5	0,09	9,33
	6	0,09	9,32

**Lampiran 7.**Lanjutan.

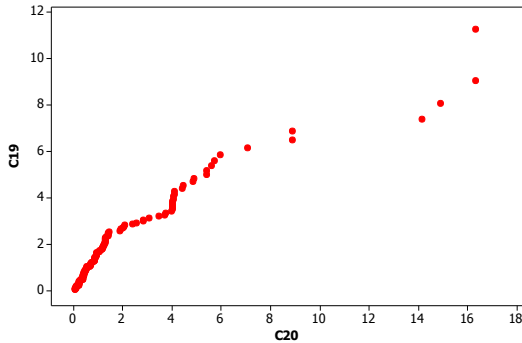
No	sampel	Karakteristik Kualitas	
		Cond	Keasaman
21	1	0,07	9,32
	2	0,07	9,32
	3	0,07	9,2
	4	0,07	9,2
	5	0,08	9,2
	6	0,08	9,2
22	1	0,06	8,09
	2	0,09	9,31
	3	0,07	9,27
	4	0,08	9,17
	5	0,07	9,3
	6	0,07	9,3
23	1	0,07	9,16
	2	0,07	9,17
	3	0,09	9,18
	4	0,09	9,18
	5	0,1	9,28
	6	0,11	9,28

**Lampiran 8.***Output* Uji Korelasi

Pearson correlation of Conductivity\_1 and Keasaman\_1  
 = 0,199  
 P-Value = 0,019



### Lampiran 9. *Output* Distribusi Normal Multivariat



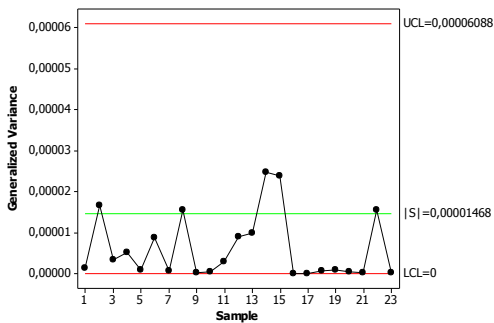
Prop 0,681159

### Lampiran 10. *Output* Deskripsi Data

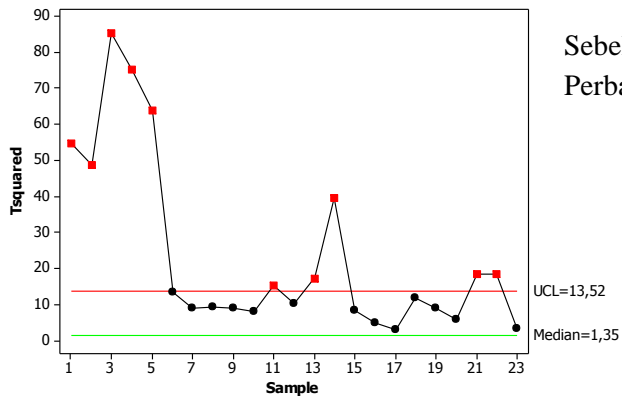
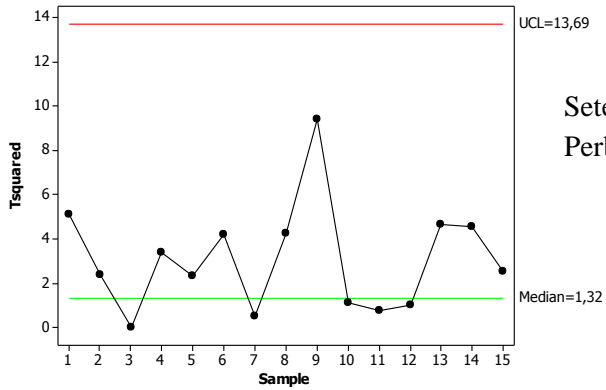
#### Descriptive Statistics: Conductivity; Keasaman

Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
Conductivity	138	0	0,09848	0,03068	0,06000	0,18000
Keasaman	138	0	9,1639	0,2880	8,0000	9,5000

### Lampiran 11. Hasil Analisa menggunakan peta GV



## Lampiran 12. Hasil Analisis Menggunakan Peta $T^2$ Hotelling



### Test Results for Tsquared Chart of Conductivity\_1; Keasaman\_1

	Point	Variable	P-Value
Greater Than UCL	1	Conductivity_1	0,0000
	2	Conductivity_1	0,0000
	3	Conductivity_1	0,0000
	4	Conductivity_1	0,0000
	5	Conductivity_1	0,0000
	11	Conductivity_1	0,0003
	13	Conductivity_1	0,0001
	14	Conductivity_1	0,0000
		Keasaman_1	0,0000
	21	Conductivity_1	0,0000
	22	Conductivity_1	0,0000

### Lampiran 13. Macro Minitab Pengujian Asumsi Distribusi Normal Multivariat

Macro

NormalMultivariate X.1-X.p qc dj2

MConstant i j n p Prop Tengah

MColumn x.1-x.p xj Kali d dj2 qc Prob

MMatrix MCova MCovaI xjxbar

-- 1.1. Dapatkan Nilai dj2 --#

let n=count(x.1)

Covariance X.1-X.p MCova

invers MCova MCovaI

do i=1:n

do j=1:p

let xj(j)=x.j(i)-mean(x.j)

enddo

```

copy xj xjxbar
mult MCovaI xjxbar Kali
let d=Kali*xj
let dj2(i)=sum(d)
enddo
sort dj2 dj2

#-- 1.2. Dapatkan Nilai qc --#
do i=1:n
  let Prob(i)=1-(n-i+0.5)/n
enddo
INVCDF Prob qc;
  Chisquare p.

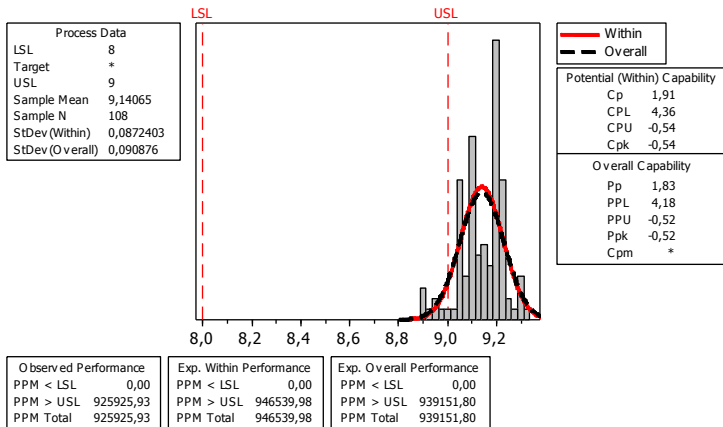
#-- 1.3 Buat Plot dj2 dengan qc --#
plot qc*dj2;
  symbol.

#-- 2. Mencari Proporsi --#
INVCDF 0.5 Tengah;
  Chisquare p.
let Prop=0
do i=1:n
  if dj2(i)<=Tengah
    let Prop=Prop+1
  endif
enddo
let Prop=Prop/n
print Prop
#-- 3. Mencari Nilai Korelasi --#
corr qc dj2
name qc 'qc'
name dj2 'dj2'
endmacro

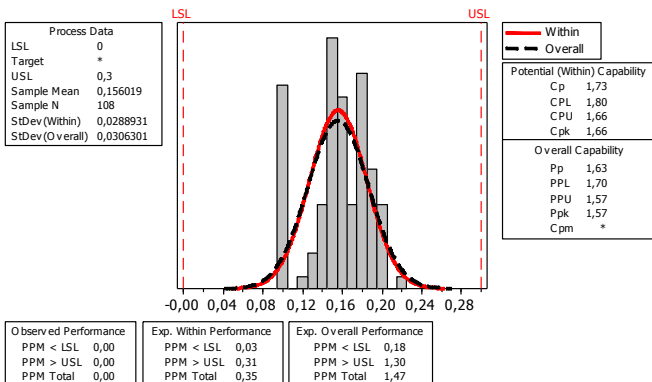
```

## Lampiran 14. Indeks Kapabilitas Bulan Februari

### Process Capability of keasaman

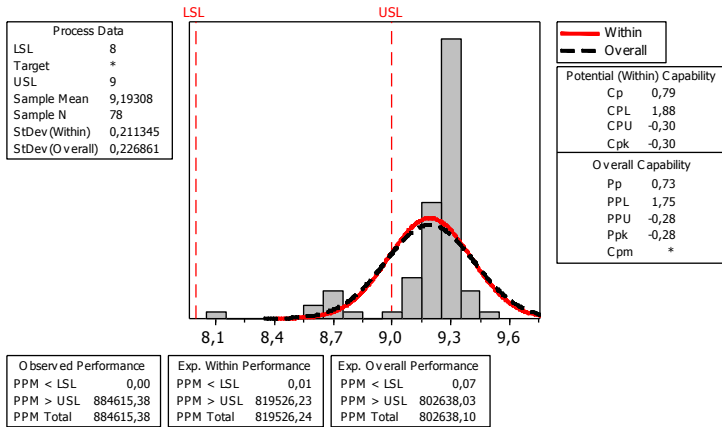


### Process Capability of conductiv

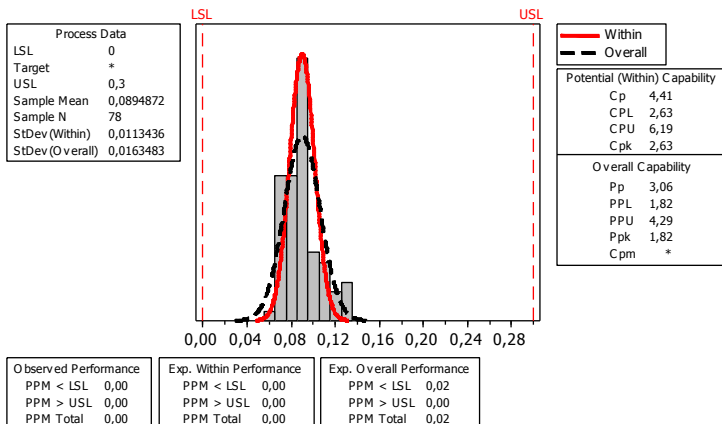


## Lampiran 15. Indeks Kapabilitas Bulan Maret

### Process Capability of Keasaman fase 2



### Process Capability of conductiv fase 2



## Lampiran 16. MANOVA

**Multivariate Tests<sup>a</sup>**

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	1,000	204270,780 <sup>b</sup>	2,000	46,000	,000
	Wilks' Lambda	,000	204270,780 <sup>b</sup>	2,000	46,000	,000
	Hotelling's Trace	8881,338	204270,780 <sup>b</sup>	2,000	46,000	,000
	Roy's Largest Root	8881,338	204270,780 <sup>b</sup>	2,000	46,000	,000
c3	Pillai's Trace	,415	1,118	22,000	94,000	,343
	Wilks' Lambda	,620	1,131 <sup>b</sup>	22,000	92,000	,331
	Hotelling's Trace	,558	1,142	22,000	90,000	,320
	Roy's Largest Root	,429	1,834 <sup>c</sup>	11,000	47,000	,075
c4	Pillai's Trace	,996	1,166	80,000	94,000	,236
	Wilks' Lambda	,247	1,162 <sup>b</sup>	80,000	92,000	,242
	Hotelling's Trace	2,059	1,158	80,000	90,000	,249
	Roy's Largest Root	1,304	1,532 <sup>c</sup>	40,000	47,000	,080
c3 * c4	Pillai's Trace	,891	,993	76,000	94,000	,509
	Wilks' Lambda	,300	1,001 <sup>b</sup>	76,000	92,000	,495
	Hotelling's Trace	1,703	1,008	76,000	90,000	,483
	Roy's Largest Root	1,151	1,423 <sup>c</sup>	38,000	47,000	,125

a. Design: Intercept + c3 + c4 + c3 \* c4

66

**Lampiran 17. Surat Pernyataan Keaslian Data Tugas Akhir****SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, mahasiswa Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS :

Nama : Rendy Winarno

NRP : 1314 030 091

Menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan data sekunder yang diambil dari :

Sumber : Divisi *Electical C&I* PT. YTL Jawa Timur


Keterangan: Data Proses Produksi pada Sistem Dearator PLTU Unit 5 bulan Februari-Maret 2017

Surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data, maka saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Mengetahui,  
Pembimbing Tugas Akhir

Menyetujui,  
yang Membuat Pernyataan

  
Dra. Lucia Aridinanti, MT  
NIP. 19610131 198701 2 001  
Rendy Winarno  
1314 030 091



## Lampiran 18. Bukti Pengambilan Data di PT

### SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Departemen Statistika Bisnis FVOKASI-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Rendy Winarno

NRP : 1314 030 091

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : PT. YTL ( Yeoh Tiong Lay ) Jawa Timur

Divisi/Bagian : *Electrical C&I*

Bulan Februari dan Maret 2017 untuk keperluan Tugas Akhir/Final Project Semester Genap 2016/2017.

2. ~~Tidak~~ ~~Keberatan~~ / Keberatan\* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/Final Project mahasiswa Statistika Bisnis yang akan disimpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.

3. ~~Tidak~~ ~~Keberatan~~ / Keberatan\* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E-journal yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Probolinggo, 20 Juni 2017



NIP.21011523

\*(Coret yang tidak perlu).

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis, dikenal dengan panggilan Renno yang memiliki nama lengkap Rendy Winarno. Penulis lahir di Surabaya, pada tanggal 23 Juni 1996 sebagai anak pertama dari dua bersaudara oleh pasangan suami istri, Suwarno dan Darwin. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai TK Dharma Wanita Kepuh Kiriman, Sekolah Dasar (SD) di SDN

Kepuh Kiriman I Waru (2005-2010), SMP Negeri 1 Waru (2010-2012), SMA Negeri 1 Pare (2012-2014). Setelah lulus SMA, penulis mendaftar ke Departemen Statistika Bisnis ITS melalui seleksi masuk diploma regular ITS angkatan 2014 dan tercatat dengan NRP 1314030091 serta menjadi bagian keluarga PIONEER. Selama perkuliahan penulis aktif di dunia organisasi dan kepanitiaan. Penulis bergabung dengan kegiatan mahasiswa sebagai anggota staff PSDM BEM FMIPA periode 2015/2016, Kepala Departemen PSDM BEM FMIPA periode 2016/2017. Pada awal semester 5, penulis mendapatkan kesempatan pengalaman Kerja Praktek di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya (Persero). Terima kasih karena telah menyempatkan waktu untuk membaca tugas akhir yang telah penulis selesaikan. Segala kritik dan saran akan diterima untuk perbaikan kedepannya. Jika ada keperluan atau ingin berdiskusi dapat dihubungi melalui email [rendynna41@gmail.com](mailto:rendynna41@gmail.com). Kurang lebihnya mohon dimaafkan. Wassalamualaikum Wr. Wb.